ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVII Juillet 1958 NUMÉRO 67

SOMMAIRE

5(100.2):070.432
Article de Tête: Science et internationalisme 115

621.039.6:621.3.014.32:539.17
L'énergie thermonucléaire et les phénomènes de striction — J. E. ALLEN, B.Eng., Ph.D., A.M.I.E.E. 117

53/59:92
L'œuvre scientifique d'Emanuel Swedenborg — HERBERT DINGLE, D.Sc., A.R.C.S. 127

061.41:5(493)
Science et technologie à l'Exposition de Bruxelles 133

532.593.08:551.465
Les vagues de l'océan — G. E. R. DEACON, C.B.E., D.Sc., F.R.S.E., F.R.S. 134

523.2
L'origine du système solaire — SIR HAROLD SPENCER JONES, K.B.E., M.A., Sc.D., D.Phil., Ll.D., F.R.S., F.R.S.E. 140

591.69-57:632.7
Comportement des parasites et lutte contre les insectes nuisibles — GEORGE SALT, Sc.D., F.R.S. 145

661.183.1:553.61:541.183.24
Les échanges ioniques dans les argiles — C. B. AMPHLETT, B.Sc., Ph.D. 149

581.132
Structure et rôle des chloroplastides — J. B. THOMAS, Ph.D. 156

049.3
Revue des livres 162

Brèves notices bibliographiques 167

Notes biographiques sur les collaborateurs 168

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
(*Pour les éditions étrangères:* G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E.)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Science et internationalisme

L'Année Géophysique Internationale, qui s'est ouverte en juillet 1957 après plus de cinq années de préparation, représente le plus vaste programme de coopération internationale qui ait jamais été tenté dans un domaine précis. Son succès actuel remet en mémoire les résultats scientifiques remarquables qui peuvent être atteints grâce à une coopération amicale entre nations; mais ce succès ne peut manquer de faire songer aux domaines dans lesquels cet esprit d'harmonie est absent.

Les savants de la génération actuelle ont été formés dans la croyance, qui existe toujours, que la science ne connaît pas de frontières, et que si ses récompenses matérielles sont modestes, elle se situe au moins au-dessus des luttes violentes divisant les hommes dans tant d'autres activités. L'histoire pourrait fournir quelques exemples réconfortants à l'appui de cette croyance. C'est ainsi que Rumford fut honorablement reçu à Paris, alors que la guerre faisait rage entre la France et la Grande-Bretagne; que Benjamin Franklin, pendant la guerre de l'Indépendance américaine, donna des instructions spéciales pour que, pendant ses voyages d'exploration scientifique, Cook ne soit pas pris à partie par les croiseurs américains. Il est vrai que dans de nombreux domaines les frontières sont toujours sans importance: la collaboration n'est limitée que par l'initiative et les ressources des individus, il n'y a pas de restrictions sur les publications. Les zones de restriction peuvent être relativement réduites, si l'on considère la science dans son ensemble; il n'en reste pas moins qu'elles ont une importance exceptionnelle et représentent une dépense considérable tant en argent qu'en énergie.

Nous nous trouvons ici devant un curieux paradoxe. D'une part, on admet généralement que nombre des grands problèmes matériels qui se posent au monde ne seront pas résolus sans l'application poussée des nouvelles découvertes scientifiques et technologiques. De l'autre, nous assistons à un vaste gaspillage d'efforts, en particulier dans les domaines les plus prometteurs, à une époque où les pays même les plus prévoyants souffrent d'une grande pénurie de savants et de technologistes. On sait quelles sont les raisons politiques de ce paradoxe. Tant qu'il existera une méfiance profonde entre pays et groupes de pays, il est bien évident qu'aucun d'eux ne se risquera à partager avec d'autres des secrets dont peut dépendre son existence. Même les alliances les plus étroites admettent difficilement le libre échange des connaissances: les hasards de la guerre pourrait fort bien isoler les associés et, de ce fait, chaque grand pays éprouve le besoin de se suffire à lui-même autant que possible.

La méfiance entre pays est aussi vieille que la civilisation et il serait vraiment naïf de supposer que les problèmes politiques actuels, tellement complexes, se dissiperont si nous supprimons les barrières artificielles qui s'opposent à la marche en avant de la science. Il n'en reste pas moins que la science est indéniablement le plus important facteur isolé déterminant l'avenir de l'humanité et il est essentiel que l'on utilise au maximum les possibilités de progrès matériel qu'elle offre. Voilà qui ne peut manifestement pas être fait tant que le progrès est artificiellement freiné, comme c'est actuellement le cas, dans quelques-uns des domaines potentiellement les plus fructueux.

Le développement de la puissance thermonucléaire constitue actuellement un exemple frappant. Il s'agit là d'une entreprise appelée en fin de compte à apporter au monde une énergie meilleur marché et plus abondante que tout ce que l'on aurait pu rêver il y a seulement vingt ans. Les bénéfices que l'humanité tout entière pourrait en tirer sont incalculables et s'il est un domaine dans lequel on voudrait que la science dépasse les frontières nationales, c'est certainement celui-ci. Pourtant, il n'en est pas ainsi. La publication de résultats scientifiques de la plus haute importance est retardée pour des raisons d'ordre politique et la coopération entre les divers centres de recherche nationaux est, au mieux, tardive et incomplète, au pire totalement inexistante. Il y a toujours des gens qui peuvent avancer de bonnes raisons pour qu'on ne touche pas à un état de chose manifestement insatisfaisant et, en l'absence d'arguments contraires, ils se rallieront l'opinion des gens mal informés.

Dans les circonstances actuelles, le savant a un intérêt et un devoir tout particuliers: il faut que les relations internationales deviennent assez cordiales pour que toutes ses ressources soient mises en œuvre à des fins pacifiques. Comme tout autre individu, il a un intérêt personnel à survivre dans la paix plutôt qu'à périr dans la guerre. Mais au-delà de cette simple vérité, ses connaissances spéciales l'encouragent à entrevoir l'aube d'un âge d'or tel que le monde n'en a jamais connu, dans lequel les fruits de la science, appliqués avec sagesse, pourront être utilisés de façon croissante pour le bien de l'humanité. A elle seule, la science ne peut résoudre que peu de problèmes, mais si on

lui en donne l'occasion, et avec la coopération des autres milieux dont dépend notre civilisation complexe, elle peut certainement éliminer nombre des causes matérielles des soucis de l'homme. Le rôle de force dominante de la science dans la civilisation est très récent — et c'est probablement une des principales raisons pour lesquelles ses réalisations dépassent de si loin les possibilités comme les dangers qu'on lui reconnaît — mais ses origines remontent à bien des siècles. Un monde dans lequel la domination de l'homme sur la nature serait appliquée de façon bienfaisante semble presque aussi lointain maintenant que lorsqu'il fut entrevu par des hommes aussi clairvoyants que Francis Bacon.

Nombreux sont les savants qui se rendent parfaitement compte de tout ce qui pourrait être réalisé, dans des circonstances favorables, par la pleine exploitation de nos connaissances actuelles, sans parler de ce que l'on pourrait raisonnablement espérer au cours des quelques prochaines décennies. Mais ces possibilités sont-elles évidentes à ceux qui définissent les politiques nationales et, par dessus tout, à ceux qui élisent les individus qui définissent ces politiques? Malheureusement, il n'en est rien. Beaucoup de gens craignent toujours la science et la considèrent comme une destructrice: on ne peut guère s'en étonner alors que l'une des plus grandes découvertes scientifiques de tous les temps a été principalement exploitée comme une menace entre les nations.

Mais si les politiciens ont souvent été lents, et le sont toujours, à comprendre toutes les implications des nouvelles découvertes, les savants eux-mêmes ne sont pas sans reproche, car au moment où ils auraient pu prendre une initiative positive, ils sont trop souvent restés passifs. Créateurs de la plus grande force matérielle existant aujourd'hui dans le monde, ils n'ont fait que peu de chose, en tant que groupe, pour faire comprendre au public les immenses possibilités en découlant. La vulgarisation de la science s'est sans doute considérablement améliorée depuis une dizaine d'années, mais l'initiative vient en général de l'extérieur et non pas de la science elle-même. Les hommes de science sont généralement prêts à donner leurs conseils lorsqu'on les demande pour une bonne cause, mais combien peu d'entre eux se sont efforcés de faire connaître les idées scientifiques là où on ne les aurait jamais recherchées et de propager leur propre foi dans la science! Malheureusement, on n'acquiert pas en même temps que la formation et l'expérience scientifiques la capacité d'introduire de nouvelles idées parmi ceux qui ne voient aucun besoin particulier de changement: cela demande des qualités personnelles qui sont sans aucun doute aussi rares chez les savants que dans l'ensemble de la population; mais ces qualités existent certainement et elles devraient être beaucoup plus largement exploitées qu'elles ne le sont.

Depuis longtemps, l'industrie a compris l'importance des services d'information et les efforts qu'elle a faits pour les développer activement ont très certainement constitué un facteur puissant des grands progrès qu'elle a récemment accomplis. En science, la situation est totalement différente; tout organisme d'information n'est pas seulement considéré par certains savants comme sans intérêt, mais même, dans une certaine mesure, comme déplacé. Cette attitude se modifie peu à peu, plus rapidement dans certains pays que dans d'autres; mais les rares organismes qui existent actuellement dans le but principal de disséminer des renseignements scientifiques sont trop souvent en butte à des difficultés financières et n'ont même pas la mesure d'appui qu'ils pourraient être en droit d'escompter des savants eux-mêmes.

Remplacer la crainte de la science par l'idée que si elle est convenablement utilisée, elle offre des bénéfices extraordinaires à l'humanité, voilà qui est de la plus haute importance, surtout pour la science elle-même. Il n'est pas seulement possible, mais indispensable d'aller maintenant au-delà des promesses, et d'apporter la preuve tangible de ce qui peut être fait si les savants de tous les pays s'associent pour quelque grand projet d'ordre pratique, comme ils le font actuellement dans le cadre de l'A.G.I. On a récemment proposé un tel projet: il s'agit de l'élimination du paludisme. Cette maladie affecte probablement quelque 700 millions d'individus et provoque peut-être 10 millions de décès chaque année. C'est aussi une maladie que les connaissances dont on dispose — si elles étaient appliquées énergiquement — permettraient d'éliminer aussi sûrement que la vaccination et les mesures de santé publique ont virtuellement fait disparaître des maladies comme la diphtérie et le choléra de pays où elles sévissaient naguère.

Un tel projet, ou tout autre projet faisant appel à fond aux ressources combinées de tous, mérite un appui total. Il pourrait à la fois s'emparer de l'imagination du public et démontrer de façon convaincante que les applications de la science ne sont pas une affaire de hasard — résultats favorables et défavorables ayant des chances égales de se produire — mais peuvent être délibérément dirigées dans des voies bénéfiques si l'humanité le désire.

L'énergie thermonucléaire et les phénomènes de striction

par J. E. ALLEN

Le fonctionnement des réacteurs nucléaires actuels est basé sur les phénomènes de fission, mais une autre possibilité est offerte par les procédés de fusion des isotopes de l'hydrogène. Le processus de fusion est discuté dans cet article qui montre en outre que l'énergie de fusion sera sans doute obtenue à partir d'une réaction thermonucléaire. Les conditions critiques devant être satisfaites dans un générateur d'énergie sont rappelées et le «*pinch effect*», striction magnétique — qui met à notre disposition l'une des méthodes les plus prometteuses dans la réalisation de ces conditions — est décrit en détail. Enfin on donne une vue d'ensemble des différentes méthodes pouvant être utilisées pour fournir dans la décharge l'énergie nécessaire à la contraction, et récupérer ensuite l'énergie produite.

Dans un article paru récemment dans ENDEAVOUR [1], Sir Christopher Hinton a décrit les réacteurs nucléaires construits actuellement pour produire de l'énergie électrique. Ceux-ci mettent à profit les réactions de fission à partir d'éléments lourds. Dans une réaction de ce type, l'éclatement du noyau de l'atome lourd en fragments s'accompagne d'une libération d'énergie nucléaire. Cependant, la réaction de fusion d'éléments légers constitue un autre procédé d'obtention d'énergie nucléaire. Au cours des réactions de l'un ou l'autre type, la masse des produits finaux est inférieure à celle des éléments originaux et il y a équivalence entre l'énergie produite et la quantité de matière annihilée. Les réactions de fusion sont celles qui ont lieu au centre du Soleil et dans la bombe à hydrogène: il y a fusion des atomes d'hydrogène en hélium. On a estimé que le taux de transformation au centre du Soleil était de l'ordre de 800 millions de tonnes d'hydrogène par seconde.

A l'inverse de ce qui se passe pour des chocs élastiques plus habituels, on peut calculer la probabilité de réaction de fusion et on trouve que les réactions de fusion les plus probables sont celles faisant intervenir les isotopes de l'hydrogène, deutérium et tritium (hydrogène 2 et hydrogène 3). Le deutérium est très abondant, en particulier si on le compare à l'isotope fissible de l'uranium, puisqu'il représente 1/5 000 de la quantité totale d'hydrogène. Les océans constituent ainsi une réserve pratiquement inépuisable de combustible si l'on découvre le moyen de «brûler» le deutérium. On ne rencontre pas le tritium à l'état naturel.

Il convient d'ajouter que dans l'utilisation du deutérium comme combustible, les déchets radioactifs sont négligeables, avantage considérable par rapport à la production d'énergie par fission pour laquelle le problème des déchets radioactifs est une difficulté sans cesse croissante. Des considérations de cet ordre, indépendamment de l'importance intrinsèque du problème, ont soulevé dans le monde entier une vague d'intérêt lié à la possibilité d'utilisation des réactions de fusion comme sources d'énergie.

LA RÉACTION DE FUSION

La probabilité de fusion des protons, c'est-à-dire des noyaux d'hydrogène ordinaire, dans une rencontre, est faible, tandis que les noyaux du deutérium et du tritium ont beaucoup plus de chance de fusionner. Les réactions suivantes peuvent avoir lieu lors d'une collision entre deutérons:

$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + \text{neutron} + 3{,}3\ \text{MeV} \quad \ldots.(1)$$

$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}H + {}^{1}H + 4\ \text{MeV} \quad \ldots.(2)$$

Si un deutéron est projeté sur un triton (noyau de l'atome de tritium), une nouvelle réaction se produit:

$$^{2}H + {}^{3}H \rightarrow {}^{4}He + \text{neutron} + 17{,}6\ \text{MeV} \quad \ldots.(3)$$

Les deux premières réactions sont également probables; l'intérêt de la troisième réside dans le fait qu'elle est plus facile à réaliser et aussi parce qu'elle nécessite un des produits finaux de la seconde réaction. De cette façon, si le tritium créé dans la réaction (2) est aussitôt «brûlé», une énergie de 24,9 MeV est obtenue à partir de cinq deutérons.

La figure 1 montre les courbes des «sections efficaces» des réactions de fusion entre deux noyaux de deutérium, et entre un deutéron et un triton. Les sections efficaces représentent l'aire de la cible qui doit être atteinte par le corpuscule

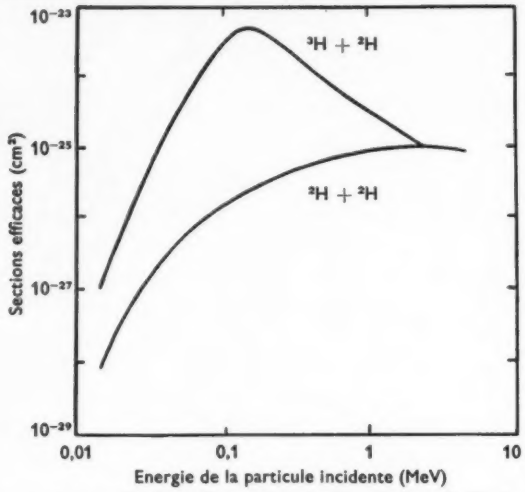


FIGURE 1 – *Sections efficaces des réactions D-D et D-T. La courbe inférieure se rapporte à l'une ou l'autre des réactions D-D, dont les sections efficaces sont à peu près identiques.*

incident s'il y a réaction, et traduisent la probabilité de la réaction. La réaction deutérium-tritium (D-T) possède une section efficace supérieure à celle de la réaction deutérium-deutérium (D-D), mais le tritium, comme on l'a noté précédemment, ne se rencontre pas naturellement. Il peut être «engendré» par capture des neutrons (provenant de réactions D-D) par l'isotope léger du lithium, ^{6}Li:

$$^6\text{Li} + \text{neutron} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + 4{,}8 \text{ MeV}$$

mais le lithium est bien moins abondant que le deutérium. L'emploi de la réaction D-D est donc très désirable dans la production d'énergie.

Le choc élastique est la conséquence la plus probable de la rencontre de deux noyaux; il est dû aux forces coulombiennes de répulsion autour des deux particules. Ceci reste vrai même pour des énergies de 10^5 électron-volts. Ainsi, le nombre de chocs élastiques sera élevé pour un nombre de réactions nucléaires faible, et les vitesses des noyaux deviendront rapidement «désordonnées». Ceci indique que des bilans énergétiques positifs seront obtenus par fusion au moyen de réactions thermonucléaires, c'est-à-dire de réactions dans lesquelles les distributions thermodynamiques des vitesses des noyaux sont identiques à celles des molécules dans un gaz ordinaire.

La fusion de deux particules précipitées l'une sur l'autre dépend de leurs vitesses relatives. Dans un gaz chaud complètement ionisé, les réactions nucléaires se produisent entre particules aux niveaux énergétiques les plus élevés. W. B. Thompson a montré [3] que le taux de réaction pouvait s'écrire $r = n_a n_b \langle \sigma v \rangle$ pour des réactions entre particules de types différents, et $r = \frac{1}{2} n^2 \langle \sigma v \rangle$ pour des particules de même type. n_a, n_b et n sont les densités de particules (nombre par cm³), et $\langle \sigma v \rangle$ le produit de la section efficace par la vitesse relative moyenne dans une répartition maxwellienne des vitesses. La probabilité de réaction $\langle \sigma v \rangle$ ne dépend que de la température, et la figure 2 montre les courbes calculées par Thompson dans l'article cité, pour les réactions D-D et D-T. Il envisage également d'autres réactions mais arrive à la conclusion suivante: les réactions D-D et D-T sont les seules significatives aux températures inférieures à 10^9 °K.

Dans le cas d'une réaction D-D (faisant intervenir simultanément les réactions (1) et (2)), en moyenne 66% de l'énergie de réaction se retrouve dans les produits chargés et 34% est transmise aux neutrons. Pour une réaction D-T, 20% seulement de l'énergie est transmise aux éléments chargés et 80% aux neutrons. Le fait que les éléments chargés peuvent rester dans le plasma alors que les neutrons s'échapperont toujours et emporteront leur énergie, montre l'intérêt de ces chiffres; cette répartition d'énergie est l'un des facteurs qui interviennent dans le calcul des conditions pour lesquelles un réacteur thermonucléaire produira plus d'énergie qu'il n'en consomme.

LES PROBLÈMES DU GÉNÉRATEUR DE PUISSANCE

Au moment où sont écrites ces lignes, on ne connaît pas le modèle du futur réacteur thermonucléaire, si toutefois cet engin peut être effectivement construit. Néanmoins, on peut montrer que

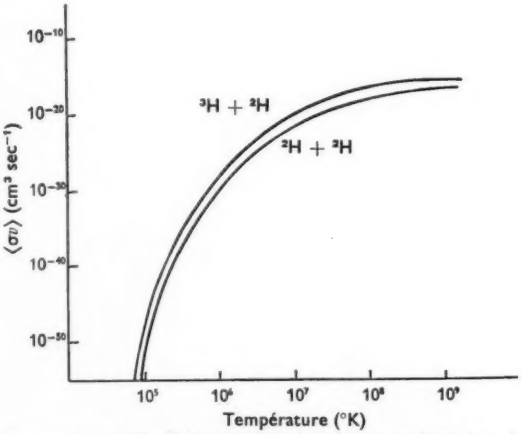


FIGURE 2 – *Coefficient de réaction $\langle \sigma v \rangle$ employé dans le calcul des taux de réaction thermonucléaire. La courbe inférieure se rapporte à la réaction D-D.*

des températures très supérieures à 3×10^7 °K doivent être atteintes avant d'envisager le réacteur comme une conception pratiquement réalisable. A de telles températures, les isotopes de l'hydrogène sont totalement ionisés et le problème sera résolu par l'étude des propriétés physiques d'un gaz complètement ionisé. Ce gaz diffère du gaz ordinaire par son interaction avec les champs électrique et magnétique. En fait, cette interaction dégage pour le problème une solution possible puisqu'on peut confiner le gaz loin des parois de l'enceinte qui le contient — les pertes par conduction étant ainsi négligeables — au moyen de forces magnétiques et par conséquent amener sa température à des valeurs littéralement astronomiques.

On a considéré le gaz ionisé comme un «quatrième état de la matière» afin de mettre l'accent sur ses propriétés particulières; pour conserver la terminologie adoptée par I. Langmuir et L. Tonks [2] dans leurs premiers travaux, on appellera «plasma» ce nouvel état. Un plasma dans lequel la majeure partie des atomes ont perdu leurs électrons, n'émet qu'une énergie faible sous forme de spectre de raies, mais il y a émission d'un spectre continu de freinage (bremsstrahlung). Un électron libre possède une probabilité finie de passer spontanément d'une orbite hyperbolique autour d'un noyau à une autre orbite hyperbolique d'énergie inférieure avec émission d'un photon de fréquence ν, si $h\nu$ est la différence d'énergie correspondant aux deux orbites. Le rayonnement de freinage est constitué par les photons émis lors de ces transitions libres. La plupart de ces photons s'échappent du gaz sans absorption, d'où une inévitable perte d'énergie. G. Cillié [4] a calculé la puissance ainsi rayonnée par les nébuleuses. Sa formule est applicable ici:

$$p = 1{,}42 \times 10^{-34} n_1 n_2 Z^2 T_1^{\frac{1}{2}} \text{ watt/cm}^3$$

formule dans laquelle n_1 et n_2 sont les densités électronique et ionique, Z, la charge des ions et T_1 la température des électrons (pour lesquels on a supposé une distribution énergétique maxwellienne). Si les densités des ions ne sont pas trop faibles, n_1 est sensiblement égal à Zn_2 pour la plus grande partie d'un gaz ionisé quelconque (ce qui veut dire que le plasma est en équilibre) et l'expression de la puissance perdue devient:

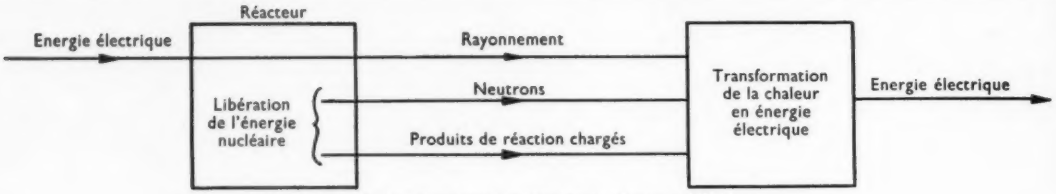
$$p = 1{,}42 \times 10^{-34} n_2^2 Z^3 T_1^{\frac{1}{2}} \text{ watt/cm}^3$$

Le rayonnement diffère de celui du corps noir parce que les conditions thermodynamiques d'équilibre ne sont pas satisfaites. Dans ce dernier cas, chacun des phénomènes se produit au même taux que son réciproque alors qu'ici l'absorption est négligeable comparée à l'émission, la quantité de matière étant faible. Dans l'équation, le facteur Z^3 montre que la perte de rayonnement est d'autant plus considérable que la charge du noyau est élevée, c'est la raison pour laquelle les éléments de numéro atomique faible sont utilisables comme combustibles dans les réacteurs thermonucléaires.

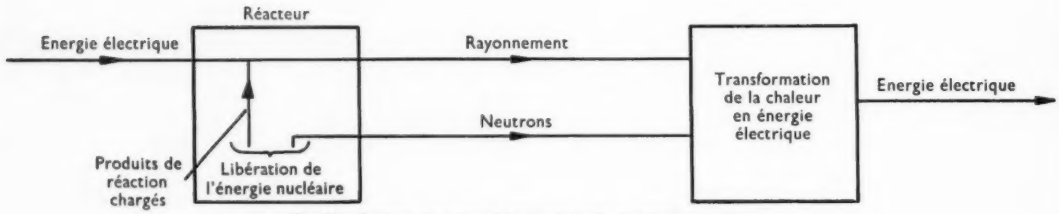
En comparant cette formule aux chiffres relatifs à la puissance thermonucléaire disponible, J. D. Lawson [5] a montré que la puissance émise était égale à la précédente pour une température d'environ $1{,}5 \times 10^8$ °K dans la réaction D-D, et 3×10^7 °K dans la réaction D-T (la température au centre du soleil est de l'ordre de $1{,}5 \times 10^7$ °K). Dans la réaction D-D, on a supposé que le tritium était brûlé dès sa formation. Ces chiffres donnent une idée des températures nécessaires, mais pour travailler dans des conditions économiques, un réacteur exigerait des températures encore plus élevées.

Si les produits de réaction s'échappent du plasma et abandonnent leur énergie sous forme de chaleur transformable en énergie électrique suivant le mode classique (figure 3*a*), l'énergie nucléaire doit être au moins deux fois la puissance rayonnée puisque le rendement n'est que 33% environ. Les températures de fonctionnement les plus basses calculées dans cette hypothèse sont 2×10^8 °K pour la réaction D-D et 3×10^7 °K pour la réaction D-T. Si le réacteur travaille en régime d'impulsion, ce qui paraît vraisemblable, une quantité appréciable d'énergie est nécessaire pour porter le plasma à la température appropriée au début de chaque impulsion. Pour que l'opération soit rentable, l'énergie électrique récupérée doit excéder la somme de l'énergie perdue et de l'énergie nécessaire pour échauffer le plasma. Sans tenir compte des énergies de dissociation et d'ionisation, ni des pertes durant la période de chauffage, Lawson a montré que nt devait être supérieur à 10^{16} pour la réaction D-D, n étant la densité ionique (nombre par cm^3) et t le temps en secondes, durant lequel le plasma est chaud. Ainsi pour $n = 10^6$ deutérons/cm^3, t doit être supérieur à une seconde. Il est évident que des densités ioniques et des durées de stabilisation importantes sont nécessaires en même temps que des températures très élevées. Dans la réaction D-T, les conditions sont plus faciles quoiqu'encore sévères, et nt doit être supérieur à 10^{14}.

Les produits finaux chargés peuvent rester dans le plasma (comme l'illustre la figure 3*b*) puisqu'ils



Cas (*a*). *Système dans lequel les produits de réaction s'échappent*



Cas (*b*). *Système dans lequel les produits de réaction sont retenus*

FIGURE 3 – *La production d'énergie électrique à partir d'une réaction thermonucléaire contrôlée. Au cours de certains cycles de l'opération, l'énergie électrique peut passer du réacteur au réseau électrique (cas (b)).*

sont soumis aux champs électrique et magnétique, mais les neutrons vont continuer à s'échapper, céder leur énergie sous forme de chaleur et seront absorbés. D'après Lawson, les valeurs de *nt* sont peu changées si l'on retient les produits de réaction.

A une certaine température (3×10^8 °K pour D-D, 5×10^7 °K pour D-T), l'énergie nucléaire associée aux produits de réaction chargés est égale à la puissance rayonnée perdue. A de plus hautes températures, il y a donc possibilité de passer directement de l'énergie nucléaire à l'énergie électrique. On parlera plus loin du mécanisme de ce transfert d'énergie.

Nous avons précisé, dans ce qui précède, les densités ioniques et les températures requises. En ce qui concerne les modes de confinement du plasma, nous pouvons étudier maintenant les champs électromagnétiques.

LE PHÉNOMÈNE DE STRICTION («PINCH EFFECT»)

Un milieu conducteur parcouru par un courant a tendance à se contracter sous l'action du champ magnétique qu'il développe comme le montre la figure 4. Cet effet, connu sous le nom de «*pinch effect*», est dû à l'interaction du courant et du champ, qui donne naissance à une force radiale dirigée vers le centre comme l'indique la règle de la main gauche de Fleming. Des expériences relatives à ce phénomène, portant sur le mercure liquide ont été décrites par E. F. Northrup en 1907 [6]. La théorie pour un gaz ionisé en a été développée par W. H. Bennett [7], L. Tonks [8] et d'autres auteurs. En 1937, P. L. Bellaschi et R. C. Mason [9] ont établi que les effets magnétiques analogues se produisent au cours des décharges atmosphériques à courants intenses; sur ce type de décharge, ils effectuèrent en laboratoire un certain nombre d'études qui ont été reprises depuis par d'autres chercheurs [10–12].

Du point de vue thermonucléaire, il est souhaitable d'ioniser le gaz dans un tube à décharge à basse pression et le contracter loin des

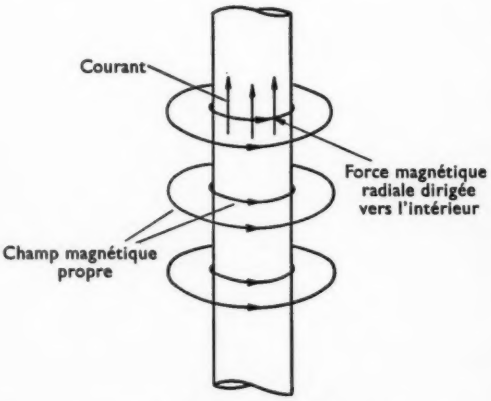


FIGURE 4 – *Phénomène de striction.*

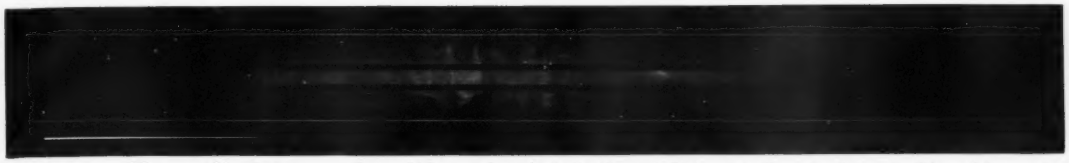


FIGURE 5 – *Photographie de la trace d'une décharge dans l'hélium (à l'intérieur de ZETA), la durée est de 3 millisecondes environ. La photographie a été obtenue par déplacement du film à grande vitesse pendant la prise de vue, déterminant ainsi le temps de résolution. L'extrémité gauche de la ligne inférieure indique le début de l'impulsion et les deux traits fins montrent le diamètre du tube à décharge (les larges traits foncés sont dus aux obstacles placés devant le hublot d'observation).*

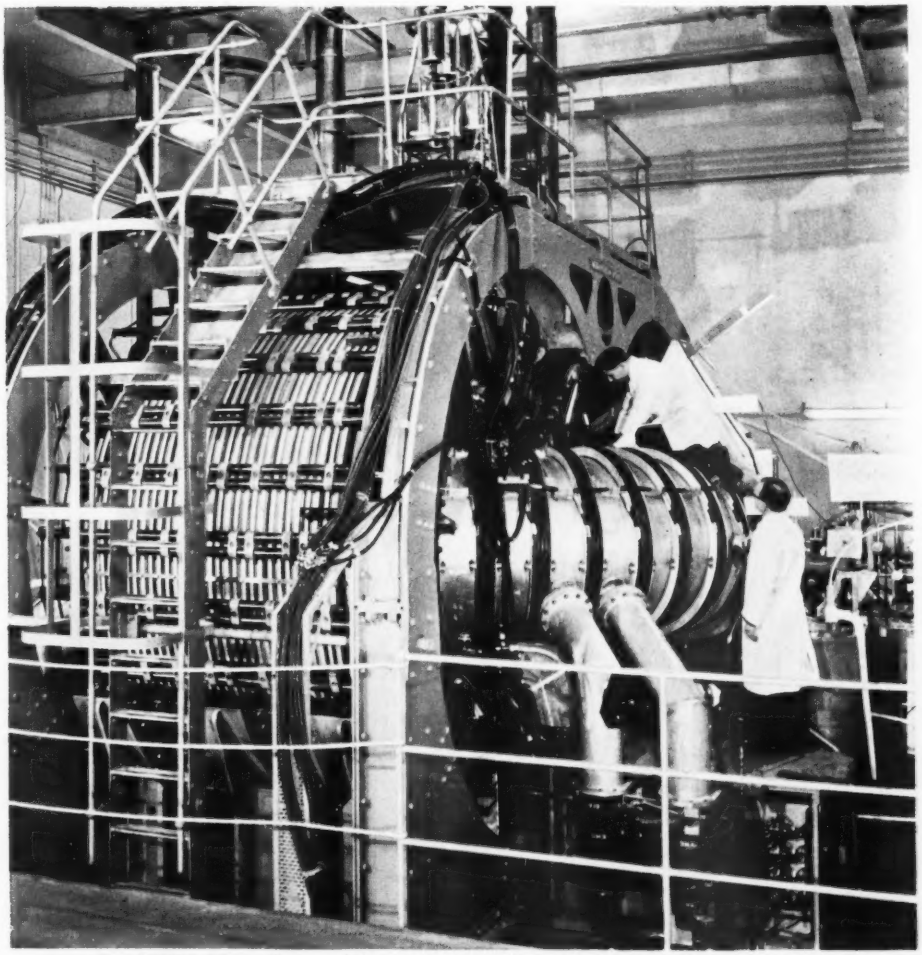


FIGURE 6 – *ZETA* (Zero Energy Thermonuclear Assembly), *appareil à grande échelle construit au* «Atomic Energy Research Establishment» *de Harwell.*

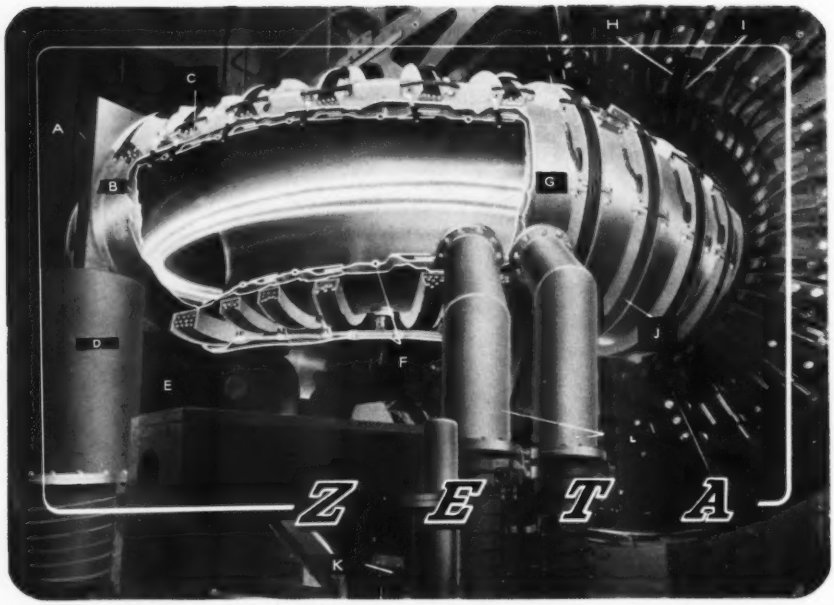


FIGURE 7 – *Vue en coupe de ZETA. Les lettres se rapportent aux différentes parties de l'appareil: A, Hublot d'observation. B, Manchons (au nombre de 48), chacun est isolé de son voisin au moyen d'isolants en polytétrafluoréthylène C. D, Syphon-vannes à air liquide du système à vide. E, Tuyauteries du pompage du vide. F, Conduite de refroidissement d'un manchon. G, Corps torique. H, Enroulements primaires du transformateur. I, Enroulements en dérivation. J, Enroulements du champ axial. K, Relais hydrauliques. L, Pompes à vide.*

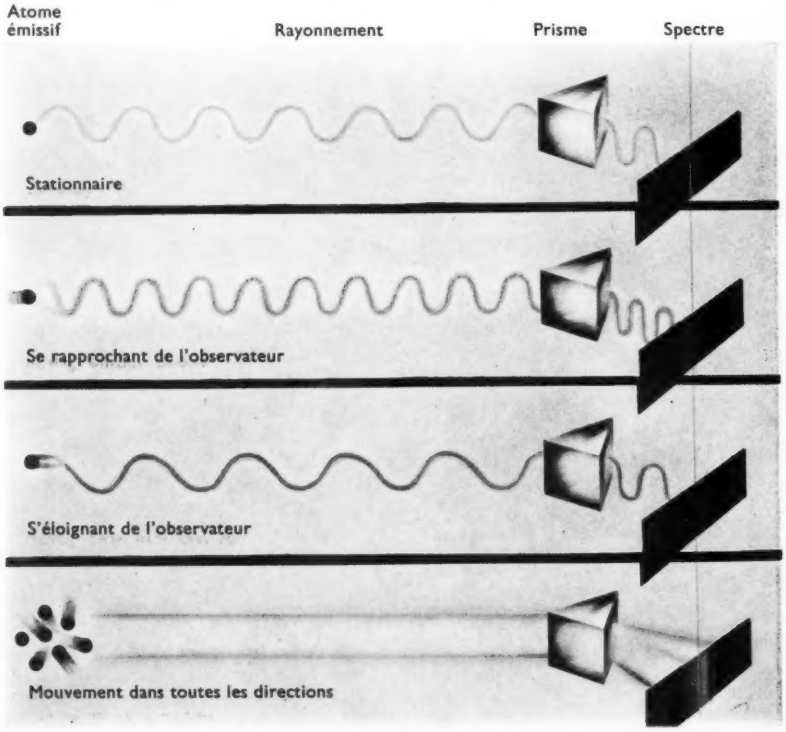


FIGURE 8 – *Diagramme schématique montrant l'élargissement des raies d'émission dû à l'agitation thermique.*

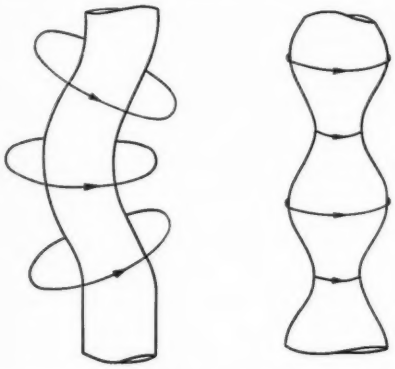


FIGURE 9 – *Instabilités de la décharge contractée.*

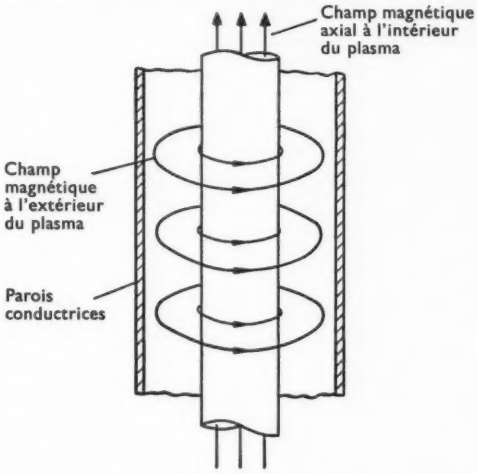


FIGURE 10 – *Confinement stabilisé.*

parois du tube. La démonstration de ce phénomène a été exposée en 1951 par S. W. Cousins et A. A. Ware [13] qui travaillaient sous la direction de Sir George Thomson.

On peut montrer que dans un état stabilisé dans lequel s'équilibrent la pression du plasma et les forces magnétiques,

$$I^2 = 4NkT \qquad \ldots.(4)$$

I étant le courant de décharge en u.e.m, N le nombre d'ions par unité de longueur, k la constante de Boltzmann et T la température des électrons ou des ions (supposée la même). Bien que les forces magnétiques agissent en premier lieu sur les électrons puisque ceux-ci transportent le courant, les électrons et les ions restent étroitement liés par les forces des charges d'espace, toute séparation notable des électrons d'avec les ions entraînerait la création de champs électriques énormes. Une séparation faible se produit en effet, mais le champ électrostatique associé retient les ions positifs.

Les pertes de chaleur par les électrodes peuvent être évitées par induction du courant à l'intérieur d'un tube à décharge en forme d'anneau. Le champ électrique induit est engendré en couplant le tore avec un flux magnétique variable. L'ensemble constitue un transformateur dans lequel le plasma forme l'enroulement secondaire à spire unique. Ce transformateur a été conçu pour fonctionner avec ou sans noyau d'acier.

L'instabilité inhérente au système est la principale difficulté rencontrée dans les travaux expérimentaux, comme l'a montré S. Lundquist [14]. La figure 9 illustre deux modes d'instabilités souvent appelées en «coque» ou «nœud» et en «saucisse». Dans l'un et l'autre cas, l'intensité du champ magnétique augmente en certains points du plasma et diminue en d'autres; la force magnétique résultante accentue la déformation.

Ces instabilités et d'autres de types différents ont été étudiées d'un point de vue théorique [15]. Elles ont d'autre part été rencontrées au laboratoire [16–20]. En général, la décharge contractée présentera une chute brutale au moment de sa contraction — ce qui est prévu — bientôt suivie d'oscillations radiales; elle sera finalement instable. Des mesures reproduisibles peuvent être effectuées au cours de la chute dont la durée dépend essentiellement de l'inertie des gaz ionisés [17, 21, 22].

Les instabilités d'autant plus défavorables que les pertes de conduction dans le plasma deviennent appréciables si celui-ci heurte contre les parois de l'enceinte. Durant la décharge, les impuretés sont elles aussi projetées vers les parois, elles augmentent la perte par rayonnement et aussi la valeur de N dans la relation (4), d'où un abaissement de la température T. Un problème important sera donc celui de la stabilisation de la décharge.

CONTRÔLE DES INSTABILITÉS

L'effet d'un champ magnétique stabilisateur axial a été indiqué pour la première fois par Lundquist [14]. Plus récemment V. D. Shafranov [23], M. Rosenbluth [24] et R. J. Tayler [25] ont traité le problème en détail. Ils ont découvert la configuration théoriquement stable représentée figure 10. La stabilisation est réalisée au moyen d'un champ magnétique axial agissant à l'intérieur du plasma, le champ magnétique propre étant rejeté à l'extérieur du plasma, et par l'utilisation

de parois conductrices. Dans ce cas, la valeur effective du champ magnétique axial est efficace, ce qu'on montre de la façon suivante. Dans un conducteur idéal (du modèle utilisé pour ces calculs), les lignes de force magnétique sont «figées» à l'intérieur du conducteur puisque le moment relatif des lignes de force et du conducteur engendrerait un champ électrique dans ce dernier, ce qui est contraire à l'hypothèse d'un conducteur parfait. Ainsi, à une déformation du plasma correspond une déformation des lignes de force, et la force de rappel qui se développe ramène le plasma dans sa position première. Les premières études expérimentales relatives à cette méthode ont été exposées par A. L. Bezbatchenko, I. N. Golovin, D. P. Ivanov, V. D. Kirillov et N. A. Yavlinsky [26] qui signalèrent un retard dans l'apparition des instabilités en présence d'un champ magnétique additionnel.

Les instabilités du type «saucisse» peuvent être réduites par cette force de rappel, mais ce n'est pas le cas de l'instabilité en «coque» représentée figure 9, que l'on supprime par l'action combinée du champ de confinement et des parois conductrices, à condition que celles-ci ne soient pas trop éloignées du plasma. Si le plasma se déplace en direction des parois, elles deviennent le siège de courants induits. D'après la loi de Lenz, ces courants tendent à s'opposer au mouvement qui les produit, c'est-à-dire que la force magnétique est telle qu'elle rétablit la décharge dans son état initial.

Dans ces calculs, on admet l'hypothèse que les courants circulent dans une couche superficielle mince, ou «peau». Les calculs entrepris actuellement montreront l'épaisseur de la zone conductrice permettant de maintenir la stabilisation. En pratique, il se produit une diffusion réciproque des deux champs magnétiques, due à la valeur finie de la conductivité électrique et au bout d'un certain temps, les instabilités apparaîtront. Dès qu'elles entrent en jeu, les fluctuations croissent rapidement, la durée nécessaire étant comparable au temps de transit d'une onde sonore à travers le plasma.

L'EFFET DE STRICTION ORTHOGONALE

Ces méthodes de stabilisation ne sont pas les seules possibles et bien qu'une discussion générale du confinement des plasmas sorte du cadre de cet article, un autre phénomène doit être mentionné, celui de striction orthogonale. Le champ magnétique et le courant représentés dans la figure 4 sont maintenant orientés à 90° de leurs directions primitives. Les lignes de force magnétique deviennent des droites, les lignes de courant, des cercles et la force magnétique résultante est encore radiale. L'avantage de cet arrangement est une stabilisation plus grande qu'avec la striction ordinaire, mais il est impossible d'utiliser une forme torique; les variations de champ détruiraient l'équilibre.

Le courant doit être induit dans le plasma par variation du courant dans un enroulement extérieur. C'est pour cette raison que la méthode est souvent désignée sous le nom de contraction par courant extérieur. Ce n'est pas très exact en ce sens que suivant l'un ou l'autre des deux modes, les courants circulent en même temps dans le plasma et dans les conducteurs extérieurs.

LE PROBLÈME DU CHAUFFAGE

Les gaz doivent être non seulement confinés dans une enceinte à une distance raisonnable des parois mais portés à très haute température. L'apport d'énergie peut se faire par effet Joule (résistance) ou par compression.

L'énergie associée à l'effet Joule est transmise aux électrons qui transportent le courant. L'énergie est transmise aux ions positifs lors des collisions. Un grand nombre de collisions doivent avoir lieu avant que les ions n'atteignent la température voulue, un électron n'abandonnant à chaque rencontre, qu'une faible partie de son énergie. Aux températures élevées, le temps de relaxation peut être assez long; il dépend de la concentration ionique [27].

Ce temps de chauffage relativement long est l'une des raisons de l'intérêt considérable suscité par l'emploi de la contraction mécanique des plasmas. Cette contraction est réalisée par les forces magnétiques de striction au moment de la chute de la décharge. On peut montrer facilement que la puissance mécanique mise en jeu est $\frac{1}{2}I^2dL/dt$, expression dans laquelle dL/dt est la variation d'inductance de la décharge. Dans certains cas, cette puissance peut dépasser celle liée à l'effet Joule.

Le comportement d'un plasma soumis à une force de contraction dépend (*a*) de la vitesse de contraction (comparée aux temps de transit d'une onde sonore à travers le plasma), (*b*) de l'existence d'un champ magnétique interne, (*c*) des collisions entre les particules. Bien qu'on puisse discuter le fait, les chocs se produisent nécessairement dans un gaz chauffé, c'est-à-dire si les particules sont en mouvement complètement désordonné sous l'effet d'une haute température, ces collisions

pourraient avoir lieu après la contraction de la décharge.

Si le nombre de chocs est élevé, le plasma peut être comprimé adiabatiquement ou par échange brutal de chaleur suivant que la compression est lente ou rapide. Si les chocs sont rares et le gaz comprimé lentement, les particules sont accélérées perpendiculairement au champ intérieur propre. Le flux magnétique lié à l'orbite d'une particule quelconque augmente et un champ électrique induit (d'après les lois de l'induction) accélère le mouvement de la particule sur son orbite. On peut imaginer le résultat comme une sorte de compression adiabatique à deux degrés de liberté. On montre que l'énergie des particules est directement proportionnelle à leur concentration (nombre par cm^3) et que cette dernière varie comme l'intensité du champ magnétique. D'autre part, si les chocs sont rares et la compression rapide, un système d'ondes hydromagnétiques prend naissance. Nous touchons ici à un autre sujet de recherches actuellement en cours [28].

Un plasma recevant en une seule contraction assez d'énergie pour atteindre une température très élevée est concevable. Dans certains cas cependant, la compression est irréversible et la succession des dilatations et contractions échauffera le gaz de façon continue [29].

TRANSFORMATION DIRECTE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

La puissance électromécanique fournie dans une décharge est $\frac{1}{2}I^2dL/dt$; on peut concevoir le mécanisme comme celui d'un moteur électrique dans lequel l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique. En changeant le signe de dL/dt, c'est-à-dire en favorisant une dilatation de la décharge, la puissance électromécanique devient négative, ce qui veut dire que l'énergie passe de la décharge vers le réseau électrique.

Si une réaction thermonucléaire se produit dans une décharge contractée et si les produits de réaction chargés sont retenus comme dans la figure 3*b*, d'une dilatation du plasma résultera un transfert direct d'énergie nucléaire sur le réseau électrique, à condition que les pertes par rayonnement soient faibles. La température sera donc supérieure à 3×10^8 °K pour la réaction D-D, ou 5×10^7 °K pour la réaction D-T, puisque les réactions n'ont lieu avec un bilan positif qu'à ces températures.

D'autre part, l'énergie nucléaire emportée par les neutrons ne peut être considérée comme chaleur. Si donc une conversion directe est utilisée dans l'avenir, il est à peu près certain que l'appareillage permettra en même temps de récupérer cette énergie des neutrons.

PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS AVEC ZETA

Les résultats obtenus avec ZETA (*Zero Energy Thermonuclear Assembly*) ont été annoncés récemment [30]. Il s'agit d'un grand ensemble expérimental (figure 6) construit à Harwell (l'expression «*Zero energy*» indique que la puissance produite par la réaction de fusion est négligeable par rapport à celle fournie.) Le tube à décharge est un tore d'aluminium de 1 m d'alésage et de diamètre moyen 3 m. Le gaz à l'intérieur du tore constitue le secondaire d'un grand transformateur à impulsions et transporte des impulsions de courant unidirectionnel de valeur maximale 200 kA pendant des périodes de quelques millisecondes, c'est-à-dire plus longues que celles obtenues jusqu'alors; l'accent a déjà été mis sur l'importance des durées de confinement. Un champ magnétique axial variable jusqu'à 400 gauss est engendré par des enroulements autour du tore.

On a trouvé que des neutrons étaient émis par ZETA et que la «température des ions», mesurée spectroscopiquement, atteignait 5×10^6 °K. La méthode de détermination de la température peut s'expliquer de la façon suivante: la fréquence d'une onde sonore mesurée par un observateur fixe, dépend de la vitesse relative entre la source et l'observateur; c'est l'effet Doppler-Fizeau. Le même phénomène s'applique dans l'émission lumineuse d'un atome en mouvement, il y a glissement de la raie dans le spectre de fréquence, d'une quantité qui dépend de la vitesse de l'atome émissif. Dans un gaz chaud, certains atomes s'éloignent de l'observateur, d'autres s'en rapprochent. Il en résulte un élargissement de la raie d'émission, ce qui est illustré dans la figure 8. S'il est loisible de négliger les autres causes d'élargissement, de la mesure de la largeur de la raie on déduit la température.

Si l'on demande la température ionique, il est bien évident qu'il y aura lieu de considérer les raies d'émission des ions positifs. Cette méthode ne peut malheureusement pas être utilisée directement dans un plasma d'hydrogène; en effet, l'atome d'hydrogène ne possède qu'un électron périphérique, les ions positifs n'en possèdent point et ne peuvent émettre un spectre de raies. C'est pour cette raison que la mesure de la température dans ZETA a été effectuée au moyen des raies d'émission des impuretés ioniques.

La détection des neutrons et les observations

des élargissements Doppler-Fizeau montrent que des ions transportant de l'énergie existent dans la décharge. Les dernières mesures, cependant, se rapportent à une vitesse moyenne des ions dans la «ligne de visée» et d'autres travaux sont nécessaires pour déterminer jusqu'à quel point et dans quelles proportions les vitesses des ions ont été «amenées en température».

Il est important de rappeler qu'on peut produire des neutrons suivant d'autres mécanismes que par réaction thermonucléaire. Des Américains [19, 20] ont trouvé des neutrons présentant une distribution anisotropique indiquant la mise en œuvre d'une sorte de mécanisme d'accélération auquel se rattacherait le développement d'instabilités du type «saucisse» représentées figure 9 [20]. C'est une des raisons qui expliquent la prudence manifestée par l'équipe de Harwell en ne proclamant pas la réalisation définitive d'une réaction thermonucléaire.

Dans l'hypothèse où les mesures de températures sont valables, L. Spitzer [31] estime que les chocs ion-électron ne permettent pas une interprétation satisfaisante du taux d'échauffement et il suggère une participation importante d'autres phénomènes. Bien que les récents résultats acquis par l'équipe de P. C. Thonemann et d'autres chercheurs [32–34], soient des plus encourageants, un effort expérimental est encore nécessaire avant qu'on puisse établir de façon formelle qu'une réaction thermonucléaire a été définitivement obtenue au laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

[1] HINTON, Sir Christopher, *Endeavour*, **16**, 65, 1957.
[2] TONKS, L. et LANGMUIR, I. *Phys. Rev.*, **34**, 876, 1929.
[3] THOMPSON, W. B. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 1, 1957.
[4] CILLIÉ, G. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **92**, 820, 1932.
[5] LAWSON, J. D. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 6, 1957.
[6] NORTHRUP, E. F. *Phys. Rev.*, **24**, 474, 1907.
[7] BENNETT, W. H. *Ibid.*, **45**, 890, 1934.
[8] TONKS, L. *Trans. electrochem. Soc.*, **72**, 167, 1937; *Phys. Rev.*, **56**, 360, 1939.
[9] BELLASCHI, P. L. et MASON, R. C. *Elec. Engng*, **56**, 1253, 1937.
[10] REYNOLDS, P. et CRAGGS, J. D. *Phil. Mag.*, **43**, 258, 1952.
[11] ALLEN, J. E. et CRAGGS, J. D. *Brit. J. appl. Phys.*, **5**, 446, 1954.
[12] KOMELKOV, V. S. et PARFENOV, D. S. Доклады Акад. Наук СССР, III, 1215, 1956; traduction anglaise: *Soviet Phys. 'Doklady'*, **1**, 769, 1957.
[13] COUSINS, S. W. et WARE, A. A. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **64**, 159, 1951.
[14] LUNDQUIST, S. *Phys. Rev.*, **83**, 307, 1951.
[15] KRUSKAL, M. D. et SCHWARZSCHILD, M. *Proc. roy. Soc. A*, **223**, 348, 1954.
[16] TIMOFEEVA, G. G. et GRANOVSKII, B. L. Журн. Экспер. Теор. Физ., **30**, 477, 1956; traduction anglaise: *Soviet Phys.*, 'JETP', **3**, 437, 1956.
[17] KURCHATOV, I. V. Атомн. Энергия, **1**, No. 3, 65, 1956; ARTSIMOVICH, L. A., ANDRIANOV, A. M., BAZILEVSKAYA, O. A., PROKHOROV, Yu. G. et FILIPPOV, N. V. *Ibid.*, **1**, No. 3, 76, 1956; LEONTOVICH, M. A. et OSOVETS, S. M. *Ibid.*, **1**, No. 3, 81, 1956; ARTSIMOVICH, L. A., ANDRIANOV, A. M., DOBROKHOTOV, E. I., LUKYANOV, S. Yu., PODGORNYI, I. M., SINITSYN, V. I. et FILIPPOV, N. V. *Ibid.*, **1**, No. 3, 84, 1956; LUKYANOV, S. Yu. et SINITSYN, V. I. *Ibid.*, **1**, No. 3, 88, 1956; LUKYANOV, S. Yu. et PODGORNYI, I. M. *Ibid.*, **1**, No. 3, 97, 1956; traduction anglaise: *J. nucl. Energy*, **4**, 193, 1957.
[18] CARRUTHERS, R. et DAVENPORT, P. A. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 49, 1957.
[19] BURKHARDT, L. C., DUNAWAY, R. E., MATHER, J. W., PHILLIPS, J. A., SAWYER, G. A., STRATTON, T. F., STOVALL, E. J. et TUCK, J. L. *J. appl. Phys.*, **28**, 519, 1957.
[20] ANDERSON, O. A., BAKER, W. R., COLGATE, S. A., FURTH, H. P. et PYLE, R. V. *Phys. Rev.*, **100**, 612, 1958.
[21] ALLEN, J. E. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 24, 1957.
[22] ROSENBLUTH, M. «Magnetohydrodynamics». LANDSHOFF, R. K. M. (publié par), p. 57, Stanford. 1957.
[23] SHAFRANOV, V. D. Атомн. Энергия, **1**, No. 5, 38, 1956; traduction anglaise: *J. nucl. Energy*, **5**, 86, 1957.
[24] ROSENBLUTH, M. Report LA 2030, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico.
[25] TAYLER, R. J. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 1049, 1957.
[26] BEZBATCHENKO, A. L., GOLOVIN, I. N., IVANOV, D. P., KIRILLOV, V. D. et YAVLINSKY, N. A. Атомн. Энергия, **1**, No. 5, 26, 1956; traduction anglaise: *J. nucl. Energy*, **5**, 71, 1957.
[27] SPITZER, L. «Physics of Fully Ionized Gases». Interscience Publishers Inc., New-York. 1956.
[28] ADLAM, J. H. et ALLEN, J. E. *Phil. Mag.*, **3**, 448, 1958.
[29] SCHLÜTER, A. *Z. Naturforsch.*, **12a**, 822, 1957.
[30] THONEMANN, P. C., BUTT, E. P., CARRUTHERS, R., DELLIS, A. N., FRY, D. W., GIBSON, A., HARDING, G. N., LEES, D. J., MCWHIRTER, R. W. P., PEASE, R. S., RAMSDEN, S. A. et WARD, S. *Nature, Lond.*, **181**, 217, 1958.
[31] SPITZER, L. *Ibid.*, **181**, 221, 1958.
[32] ALLEN, N. L., ALLIBONE, T. E., CHICK, D. R., HEMMINGS, R. F., HUGHES, T. P., KAUFMAN, S., LILEY, B. S., MACK, J. G., MILES, H. T., PAYNE, R. M., READ, J. E., WARE, A. A., WESSON, J. A. et WILLIAMS, R. V. *Ibid.*, **181**, 222, 1958.
[33] BURKHARDT, L. C. et LOVBERG, R. H. *Ibid.*, **181**, 228, 1958.
[34] HONSAKER, J., KARR, H., OSHER, J., PHILLIPS, J. A. et TUCK, J. L. *Ibid.*, **181**, 231, 1958.

L'œuvre scientifique d'Emanuel Swedenborg

par HERBERT DINGLE

Le nom de Swedenborg n'évoque aujourd'hui que l'écrivain religieux et le mystique. Pourtant, il étudia les sciences avec ardeur et sa puissante imagination lui suggéra maintes théories originales. Ce sont les raisons de cet oubli et quelques détails de son œuvre scientifique que l'on trouve ici.

Toute vérité importante, selon A. N. Whitehead, a déjà été dite par quelqu'un qui, cependant, ne l'a pas découverte. Il faisait allusion à ceux qui n'ont pas assez d'intelligence pour comprendre leurs actes. Il y a des gens, d'autre part, dont l'envergure intellectuelle dépasse la compréhension de leurs contemporains; ils formulent également des vérités importantes dont on ne peut pas dire qu'elles sont ainsi «découvertes» dans le sens habituel du terme.

FIGURE 1 – *Emanuel Swedenborg.*

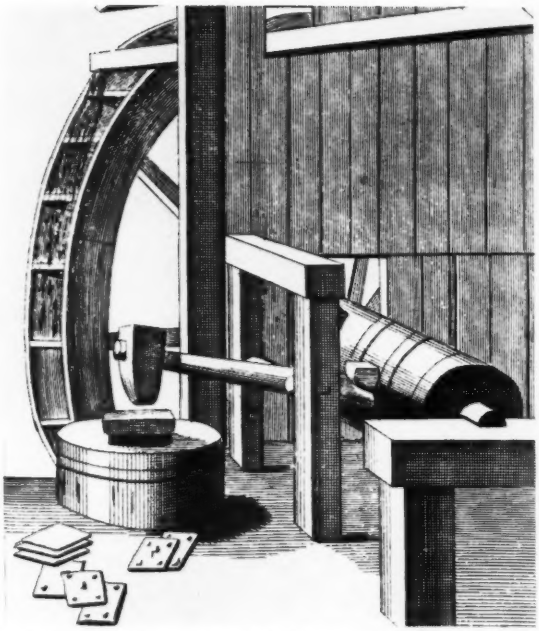
Emanuel Swedenborg naquit à Stockholm le 29 janvier 1688, et passa la plus grande partie de sa vie à Upsal où s'était établi son père, un évêque luthérien. Sa carrière scolaire semble avoir été honorable, sans plus. A l'âge de 22 ans il part pour l'étranger, passe près de deux ans à Londres et à Oxford et trois ans dans diverses villes du Continent. En Angleterre il s'intéresse surtout aux mathématiques et à l'astronomie. «J'étudie tous les jours l'œuvre de Newton, écrit-il, et je tiens beaucoup à le voir et à l'entendre.» Rien ne laisse croire qu'il ait réussi à le faire, mais il a rencontré Flamsteed, Halley et divers autres membres de la naissante *Royal Society*. Entre autres travaux originaux, il invente une méthode pour trouver la longitude d'après les observations lunaires.

De Paris en 1713 il écrit: «Une âpre rivalité existe entre les mathématiciens anglais et ceux d'ici. Halley (d'Oxford) m'a dit qu'il avait été le premier à observer les variations du pendule à l'Equateur; mais ici on n'en souffle pas mot; les astronomes affirment d'autre part que Cassini avait écrit son mémoire avant que Halley ne s'embarque pour Sainte-Hélène, et ainsi de suite...»

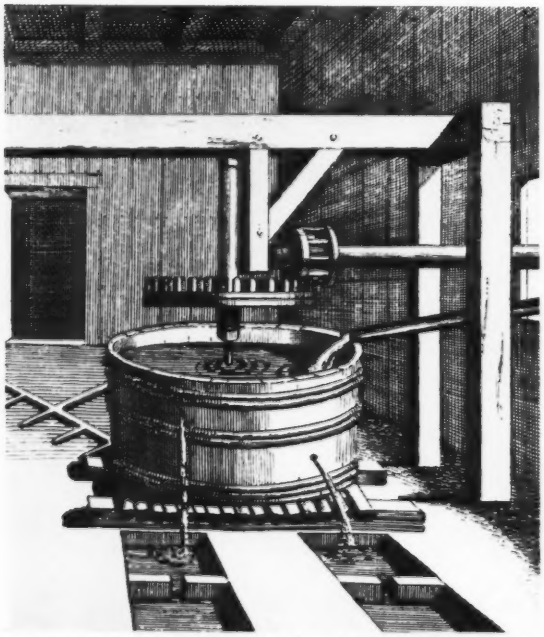
Ses facultés d'invention ne cessent de croître pendant ces années et la liste de ses projets, notamment ceux de navires sous-marins et de machines volantes, fait penser à Léonard de Vinci. Il n'y a toutefois pas trace de réalisations.

Swedenborg regagne sa patrie en 1715, se proposant avec ardeur d'y encourager la recherche scientifique, car le pays est quelque peu arriéré sous ce rapport. Les mathématiques l'interessaient, mais pas autant que les applications pratiques. A propos du peu d'enthousiasme que soulevait parmi les mathématiciens suédois l'établissement d'un observatoire à Upsal, il écrit que «les mathématiciens ont perdu toute énergie et tout désir de mettre à exécution un plan aussi bien conçu que celui que vous leur avez suggéré pour la construction d'un observatoire. Ils ont la tendance néfaste à se cantonner dans la théorie. Il conviendrait qu'à chaque groupe de dix mathématiciens s'adjoigne un homme éminemment pratique qui pourrait «mener les autres au marché». Ce seul homme acquerrait plus de renommée et se révélerait plus utile que les dix autres mis ensemble.»

En attendant un emploi permanent il lança une revue technique intitulée *Daedalus Hyperboreus*. Elle



FIGURES 2 *et* 3 – *Marteaux à bascule hydrauliques. Tirées, ainsi que les figures* 4 *et* 5 *du* Regnum subterraneum *de Swedenborg* (1734), *un ouvrage magnifiquement illustré.*



FIGURES 4 *et* 5 – *Extraction du cuivre. Enrichissement du minerai de cuivre par flottation* (4), *et* (5) *appareils utilisés pour les essais de minerais: on voit au fond un fourneau; en bas, à gauche: injection de vapeur dans le minerai «grillé», et, à droite: séparation du minerai par flottation.*

reçut l'approbation du roi, le célèbre Charles XII, qui, en outre, lut les articles et les commenta. La publication cessa, cependant, faute d'argent, après le sixième numéro. Le roi le nomme alors, à la fin de 1716, Assesseur Extraordinaire à la Commission des Mines. Ce poste l'intéresse à tel point que deux ans plus tard il refuse l'offre d'une chaire d'astronomie à l'université d'Upsal, donnant comme motif qu'il peut servir davantage son pays au poste qu'il occupe, et que d'ailleurs ses goûts et sa disposition d'esprit «le portent vers la mécanique et bientôt vers la chimie, sujet dont ses co-assesseurs à la Commission sont notoirement ignorants».

La mort de Charles XII, survenue en novembre 1718, lui porta un rude coup, car ce roi s'était intéressé à ses projets alors que ceux-ci ne rencontraient ailleurs que la plus complète indifférence. Il entreprit, à l'automne de 1721, un voyage d'un an en Hollande et en Allemagne pour étudier les mines et les industries de ces pays. En 1724, bien qu'il ne réussît guère à convaincre ses compatriotes de l'importance de ses travaux, on le nomma Assesseur Ordinaire — c'est-à-dire permanent — à la Commission des Mines. Dans les années qui suivirent il publia des articles scientifiques qui lui valurent une réputation européenne. Ils traitaient surtout de questions techniques. Vers 1734, toutefois, il s'intéressa de nouveau aux aspects théoriques de la science et désormais ses travaux portèrent non seulement sur les problèmes fondamentaux de la physique, tels que la structure ultime de la matière, les lois de la mécanique, l'origine du système solaire et la nature du magnétisme, mais aussi sur des questions également fondamentales d'anatomie, de physiologie et de ce que nous appelons actuellement la psychologie.

S'il se trouvait quelqu'un ayant la compétence voulue pour l'entreprendre, une étude psychologique de l'évolution des préoccupations de Swedenborg serait du plus haut intérêt: à partir des questions minières jusqu'au mysticisme, en passant par la chimie, la physique, les bases mathématiques de la mécanique, les principes fondamentaux de la physiologie et la nature de l'âme. Nous ne pouvons ici que noter des faits.

Dans le domaine des sciences pratiques, ses travaux ont de l'à-propos et de la profondeur. Les progrès qu'il fit faire à l'industrie minière et métallurgique de la Suède témoignent de sa compétence, son esprit d'initiative et son patriotisme. Mais c'est ailleurs qu'il faut chercher la manifestation de son originalité. Il fut le premier, selon son célèbre compatriote Berzélius, à attirer l'attention, dans un mémoire publié en 1719, sur le soulèvement progressif de la côte suédoise. Les preuves qu'il en donne se fondent sur des principes bien connus aujourd'hui, mais tout nouveaux pour l'époque. Silvanus Thompson lui attribue l'invention de la première pompe à mercure. Selon le chimiste français Dumas, c'est à Swedenborg que l'on doit l'idée, fondamentale en cristallographie moderne, de construire des formes cristallines par groupement de sphères. Il y a des preuves que Kepler a antérieurement émis la même idée, mais il est peu probable que celui-ci l'ait reliée, comme l'a fait Swedenborg, à la constitution intime de la matière. Bien qu'il soit impossible d'attribuer avec certitude la paternité d'une idée, les témoignages qui précèdent, et d'autres encore, émanant de savants dont la prééminence est reconnue dans leurs propres disciplines, indiquent clairement que la fertile imagination de Swedenborg, révélée dans ses ouvrages théoriques, s'étendait également au domaine de l'invention pratique.

D'autre part, sans se départir de ce sens pratique, il recherchait les principes selon lesquels les phénomènes naturels pouvaient, ou non, se produire. Ses *Principia* qui constituent la première partie de ses *Opera Philosophica et Mineralia*, publiés en 1734 aux frais de son protecteur, le Duc de Brunswick-Lunebourg, sont d'importance aussi fondamentale que ceux de Newton: tous deux posent des principes de mouvement basés sur des concepts physiques primaires, mais, tandis que Newton abandonnait le postulat médiéval du mouvement circulaire en faveur du mouvement rectiligne, Swedenborg préférait la forme en spirale qui est vraisemblablement une combinaison du mouvement circulaire avec un mouvement rectiligne vers l'extérieur. Sur cette base il élabore une théorie de la structure et des mouvements de la matière, aboutissant à une explication de l'origine du système solaire qui ressemble sous beaucoup de rapports à la théorie dite «nébulaire» de Laplace. Il emploie des expressions, aujourd'hui désuètes, qui rappellent les obscures élucubrations des originaux un peu détraqués. Cependant, une fois qu'on a surmonté cette impression désagréable on s'aperçoit que sa pensée est lumineuse. Il fait une étude approfondie de l'évolution mécanique et en applique les principes à l'explication du magnétisme. En cela il devance l'actuelle théorie moléculaire du magnétisme. Même ses figures ne dépareraient pas un des manuels contemporains se rapportant au sujet. Il relie ses théories aux expériences, notamment celles qu'effectuaient alors Musschenbroek et montre que ces théories expliquent les phénomènes découverts.

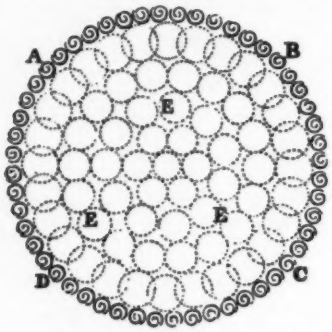


FIGURE 6 – *Schéma de la conception swedenborgienne de la première particule élémentaire (nous dirions «atome»): les cercles EE représentent les «actives» et les spirales périphériques les «finies». Celles-ci rappellent beaucoup nos nucléons et nos électrons.*

Les conceptions étudiées dans les *Principia*, d'importance fondamentale en physique, ne l'étaient pas encore suffisamment aux yeux de Swedenborg qui ne reconnaissait aucune démarcation stricte entre la physique et l'ensemble de la science. Il se pencha ensuite sur le fonctionnement de l'organisme humain: le corps, puis l'âme. Convaincu qu'il arriverait à la vérité non pas en formulant des hypothèses mais par l'étude et l'interprétation des faits, il sollicita et obtint, après la publication des *Principia*, un long congé. Il parcourut alors plusieurs pays et s'assimila tout ce qu'on pouvait y apprendre sur l'anatomie et la physiologie. Dans ces dernières disciplines, comme en physique, ce sont les expériences qu'il tenait pour être la source de toute connaissance. Il en effectua plusieurs lui-même, mais il comptait surtout sur les observations des autres. Dans le compte rendu de ses travaux il écrit: «Je me suis permis par endroits de faire état de ma propre expérience, mais je l'ai fait avec ménagement, car je me fie davantage aux observations d'autrui. En effet, certains sont doués pour l'observation expérimentale comme si la nature les «avait pourvus d'un regard plus pénétrant, d'une perspicacité plus fine: tels sont Eustachi, Ruysch, Leeuwenhoek, Lancisi, etc. D'autres possèdent la faculté d'examiner les faits découverts et d'expliquer leurs causes. Ces dons particuliers se rencontrent rarement chez les mêmes individus. J'ai remarqué, en outre, qu'en m'attachant à l'étude du corps humain, j'avais tendance, aussitôt que j'avais découvert quelque chose d'inconnu jusqu'alors, à négliger les remarques et les recherches les plus subtiles des autres et, à partir de ma seule découverte, à échafauder toute une théorie. Cette sorte de narcissisme m'empêchait d'apercevoir et de comprendre avec toute la précision voulue l'universel dans le particulier, et le particulier dans l'universel. En outre, quand je tentais de déduire des principes de ces découvertes, je m'imaginais pouvoir trouver confirmation de leur vérité dans d'autres phénomènes qui, en réalité, ne donnaient lieu à aucune interprétation semblable. Aussi je mis de côté mes instruments et réprimai mon envie de faire des observations, résolu d'utiliser les recherches des autres plutôt que les miennes propres.»

Le compte rendu de ses travaux biologiques fait l'objet de deux publications: *Œconomia regni animalis* (1740) and *Regnum animale* (1744–45), où *animalis* se rapporte à l'âme (*anima*) et seulement secondairement au règne animal. Il dit dans l'introduction au deuxième ouvrage: «Je me propose d'étudier en physicien et en philosophe l'anatomie du corps, afin d'acquérir une connaissance de l'âme, qui sera le couronnement de mes travaux. Pour résoudre les problèmes qu'entraîne la poursuite de cette recherche, j'ai choisi de les aborder par la méthode analytique, que je suis peut-être le premier à utiliser de propos délibéré. Pour accomplir ce grand dessein, je vais examiner en détail ce monde, ou microcosme, qui est la demeure de l'âme, car il serait vain, à mon avis, de la rechercher ailleurs que dans son propre royaume.»

Il avait probablement raison de croire qu'il pouvait pénétrer dans le domaine de la psychologie par la voie de la physique expérimentale, et pour que cela, à notre époque de spécialisation extrême, ne puisse être considéré comme une preuve d'aberration mentale, signalons que la recherche entreprise par Swedenborg était tout à fait conforme à l'esprit scientifique de son époque. Newton, par exemple, écrit dans ses *Principia* que l'admirable ensemble du Soleil, des planètes et des comètes ne peut avoir été conçu et ordonné que par un Etre suprêmement intelligent et puissant et, plus loin, qu'il appartient à la physique d'accéder à la connaissance de cet Etre en étudiant ses créations. Quand Swedenborg entreprit d'étudier l'âme par le truchement du corps, sa tâche était moins ambitieuse que celle que Newton avait esquissée, et sortait bien moins du cadre de la science, bien que par la suite il parlât aussi de Dieu. Rien pour l'instant n'indiquait que Swedenborg devait être autre chose qu'un homme de science.

Il ne m'appartient pas d'apprécier, ni même de décrire, l'œuvre biologique de Swedenborg. Au Congrès International des Anatomistes tenu à Heidelberg en 1903, Gustaf Retzius affirme dans

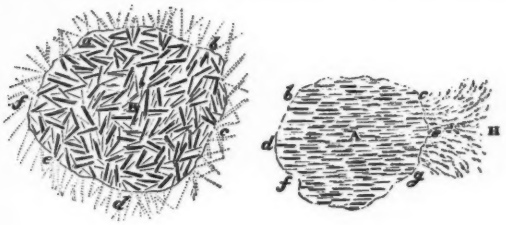


FIGURE 7 – *Représentation graphique des «vorticules» (nos «molécules») par Swedenborg. A gauche: dans du fer non-magnétisé, et à droite: dans du fer magnétisé. Les figures* 6 *et* 7 *sont reproduites d'après une édition moderne des* Principia.

son discours présidentiel que Swedenborg a découvert la localisation des fonctions cérébrales, et ajoute, citant Max Neuburger, que Swedenborg devança son époque d'un siècle en démontrant que la substance corticale est exclusivement le siège des activités psychiques supérieures. On lui a attribué également la découverte de la respiration pulmonaire et de la perméabilité osmotique des membranes des organismes vivants.

Le *Regnum animale* ne fut jamais achevé. Certaines manifestations de nature mystique changèrent l'orientation des activités de Swedenborg. Il n'abandonna cependant pas tout de suite ses travaux scientifiques, et ce n'est que peu à peu qu'il s'adonna complètement aux choses spirituelles. C'est ainsi qu'en 1743, dans sa demande de prolongation de congé en vue de la poursuite de ses études anatomiques, il écrit: «Je suis mû par le désir de produire au cours de mon existence une œuvre substantielle qui, étant utile au monde scientifique et à la postérité, serait également utile et même agréable à ma patrie, et, du même coup, me procurerait l'honneur d'avoir pu réaliser mes vœux... Je désire par-dessus tout achever cet ouvrage, puis revenir vers mon pays, ma charge et ma propriété, où je pourrai alors poursuivre dans la sérénité mon œuvre majeure, le *Regnum minerale*, et rendre des services immédiats au public dans un domaine qui est celui de la Commission Royale.»

Il est donc évident qu'à cette époque il envisageait un retour à ses travaux relatifs aux mines. Toutefois nous voyons dans sa préface aux *Arcana Cœlestia* de 1749: «Depuis plusieurs années déjà il m'est donné d'être dans la compagnie d'esprits et d'anges, d'entendre leurs entretiens et converser avec eux.»

Il a dit par la suite qu'il s'agissait d'une évolution graduelle commencée en 1743 alors qu'il avait 55 ans. Toujours est-il que presque en même temps que les parties achevées du *Regnum animale*, en 1745, il publia un livre intitulé *De cultu et amore Dei* lequel, malgré son titre, se classe parmi ses ouvrages scientifiques plutôt que religieux. L'auteur y traite de la Création d'après la Genèse qu'il tient, de même que Newton et les autres savants contemporains, pour être le récit d'événements historiques. Pourtant, dans l'*Arcana Cœlestia*, les mêmes événements ne sont plus des faits mais des allégories. Dorénavant il semble que l'interprétation rationnelle des phénomènes n'intéresse plus Swedenborg. Les événements naturels ne sont que des symboles des éternelles vérités spirituelles. Dans tous ses écrits subséquents, qui d'ailleurs lui ont valu une bien plus grande célébrité que ses travaux scientifiques, le naturel est également subordonné au spirituel. Ils sortent par conséquent du cadre de cet article. Nous ajouterons seulement qu'il se démit de son poste à la Commission Royale des Mines en 1747 et désormais séjourna constamment à l'étranger. En définitive, il s'établit à Londres, où il mourut le 29 mars 1772.

Du point de vue purement intellectuel, Swedenborg est indubitablement un homme de premier plan. Sa versatilité indique l'ampleur de l'intérêt qu'il portait aux phénomènes naturels et ses découvertes en montraient la profondeur. L'ardeur qu'il mettait à acquérir des connaissances n'a jamais supprimé chez lui, comme chez trop de nos contemporains, hélas, le sentiment de l'importance qu'il y a de comprendre vers quoi tendent ces recherches. Il avait sur la philosophie de la science des idées bien nettes dont l'avenir a démontré la justesse.

«Il y a deux manières, écrit-il en 1740, de décrire les phénomènes naturels qui s'offrent ou se dérobent à notre vue: la méthode a priori, ou synthétique, et celle a posteriori, ou analytique. Il faut avoir recours aux deux pour méditer sur un seul phénomène et le décrire, ce qui exige à la fois des lumières a priori et de l'expérience a posteriori. Or, les savants du temps passé s'attachaient uniquement aux connaissances a priori, tandis que ceux qui les suivirent n'acceptaient que les témoignages de l'expérience. De même les savants actuels s'accordent apparemment pour préférer le témoignage des sens, résultats d'expériences, à la raison pure, tout en espérant cependant qu'un jour on arrivera à relier l'expérience à la théorie, car l'expérience sans une connaissance de la nature intime des choses est sans objet, comme des fondations qui ne portent aucun édifice. Les sens n'apportent que des données qu'il appartient à la raison d'examiner et de juger.»

Comment se fait-il que l'histoire de la science fasse si peu de cas d'un chercheur d'une telle envergure? Les découvertes qu'il fit et qui durent plus tard être redécouvertes sont plus nombreuses que celles d'aucun autre, et ce n'est pas certes faute d'être connues qu'elles ont passé inaperçues. Comment expliquer un tel oubli?

A mon avis, il voyait trop loin. Il avançait par une suite d'intuitions et ne pouvait expliquer cette avance en termes compréhensibles pour ses contemporains. Pour effectuer des progrès en science, il faut évidemment devancer ses voisins, mais pas de trop loin. Si, au XVIe siècle quelqu'un avait effectué l'expérience de Michelson-Morley, Copernic serait tombé en discrédit. Si Newton s'était rendu compte que ses expériences ne démontraient pas le caractère absolu de l'accélération, la loi de gravitation n'aurait pas existé. Si Darwin avait douté de l'hérédité des caractères acquis, il n'aurait pas formulé sa théorie de l'évolution par sélection naturelle. Les progrès de la science dépendent de la solution de chaque problème à mesure qu'il se pose, sans souci de ce qui va suivre. Il ne sert à rien, quand on n'a pas d'ailes d'apercevoir un but qu'on ne peut atteindre qu'à vol d'oiseau! Le commun des mortels avance pas à pas dans la voie sinueuse du progrès: Swedenborg, lui, visait trop haut pour être compris de ceux qui l'entouraient; c'est pourquoi ses découvertes durent être effectuées de nouveau par d'autres méthodes.

La science, moins ambitieuse que la philosophie médiévale, réussit là où celle-ci échoue: mettant de côté Dieu, la nature et la vie humaine, elle s'attache à chronométrer la descente d'une bille le long d'une pente, à observer la montée d'un liquide dans un tube en verre. En se bornant ainsi aux choses triviales, elle remet à plus tard les objectifs plus sérieux, convaincue à juste titre que connaissant mieux celles-là, elle accédera plus facilement à ceux-ci. En d'autres termes, c'est quand on s'est heurté à l'impuissance de la philosophie qu'on s'est tourné vers la science.

Le cas de Swedenborg est différent: il accepte les méthodes de la science, mais n'admet pas l'échec de la philosophie: «Quant à l'âme et ses diverses facultés, écrit-il au début des *Principia*, je ne crois pas que les lois du mouvement nous aide à les comprendre et les expliquer. Notre ignorance est telle pour l'instant que nous ne savons pas si les mouvements que l'âme communique aux organes du corps peuvent se rapporter à quelque loi, semblable ou non, à celles de la mécanique.»

Newton aurait tenu pareil propos, mais le fait que ses lois ne s'appliquaient pas au corps humain ne l'a pas empêché d'en proclamer l'universalité en ce qui concerne la matière non-vivante. Swedenborg voulait des lois vraiment universelles, qui embrasseraient l'âme également. En cela il échoua. Mais s'il n'occupe pas une place en vue dans le temple de la Science, il a obtenu ailleurs sa récompense.

Pour diverses raisons il m'a été impossible en certains cas de vérifier à la source les extraits des auteurs cités dans cet article. J'ai puisé largement dans l'ouvrage de G. Troubridge, *Swedenborg: Life and Teaching* (*Swedenborg Society*, 4e édition, 1935), lequel m'a paru tout à fait digne de foi d'après les vérifications que j'en ai pu effectuer.

Science et technologie à l'Exposition Internationale de Bruxelles

L'Exposition de Bruxelles, qui est maintenant dans son troisième mois, est la première du genre à être tenue en Europe depuis l'avant-guerre. L'une des principales tâches qui se présentait à ses organisateurs consistait à faire l'inventaire de la richesse matérielle de l'humanité. Il n'est donc pas surprenant, étant donné les progrès fantastiques des vingt dernières années, de voir la science et la technologie recevoir une attention beaucoup plus grande que dans toute autre occasion similaire de par le passé. Les principaux pavillons nationaux présentent une quantité importante de matériel scientifique, bien que l'importance qu'on y attache varie bien entendu dans une mesure considérable; en outre, le Hall International de la Science met en lumière — sans tenir compte de leur pays d'origine — nombre des grandes découvertes scientifiques de ces dernières années. Avant que l'Exposition ne ferme ses portes, quarante ou cinquante millions de personnes l'auront visitée; en dehors de toute autre considération, elle représente donc une contribution très importante à la tâche primordiale consistant à mettre la science à la portée du grand public et à illustrer ses rapports avec la vie de chaque jour. Elle aura donné en outre au visiteur attentif l'occasion de comparer les divers pays les uns avec les autres et d'apprendre quelque chose du monde complexe dans lequel nous vivons.

Une telle vue d'ensemble, en dehors même du fait qu'elle présente un grand intérêt général, peut avoir une importance pratique considérable. Sous ce rapport, la Grande Exposition tenue à Londres en 1851, le tout premier ancêtre de l'exposition universelle se déroulant actuellement à Bruxelles, mérite notre attention; elle fait suffisamment partie de l'histoire pour que sa signification puisse être clairement discernée. Pour la Grande-Bretagne, ce fut un événement d'une grande portée historique, car il a déterminé une part importante de la politique nationale pendant de nombreuses années. En 1851, le jury international décerna à la Grande-Bretagne des prix dans presque toutes les cent catégories de produits manufacturés. Pour les optimistes, il s'agissait là d'une preuve suffisante de suprématie facile, mais les plus perspicaces parmi les observateurs britanniques virent dans l'exposition la preuve alarmante d'une puissante concurrence étrangère. Cette observation eut un résultat important, celui de déclencher en Grande-Bretagne un effort concerté en faveur d'une formation technique mieux conçue et plus étendue, dont la plupart des autres pays européens avaient déjà compris la grande importance. L'Exposition de Paris, en 1867, montra combien justifiés avaient été les pressentiments des critiques; à Paris, en effet, seize ans plus tard seulement, la Grande-Bretagne ne remporta qu'une douzaine de récompenses. Ce résultat aida considérablement ceux qui œuvraient en faveur d'une réforme de l'enseignement et, bien que décevants en eux-mêmes, les effets de l'exposition furent salutaires et, à longue échéance, favorables à l'industrie britannique.

Il s'agit là d'une histoire ancienne concernant un monde bien différent de celui qui est maintenant représenté à Bruxelles. Il est cependant utile de la rappeler, pour se souvenir que les expositions universelles ne sont pas des événements éphémères destinés à la distraction des masses, mais que si elles sont convenablement interprétées elles peuvent influencer les politiques nationales pendant de très nombreuses années. Si l'Exposition de Bruxelles a un tel effet, elle aura joué un rôle très utile. Certaines leçons sont déjà apparentes. L'une d'entre elles, présentée de façon frappante, c'est que les pays relativement arriérés qui prennent à cœur le développement de la science et de la technologie peuvent très vite rattraper, et sous certains rapports dépasser, ceux qui ont été dans cette course depuis beaucoup plus longtemps, mais n'ont pas saisi toute l'importance de cette nouvelle discipline. Réciproquement, on peut voir que les pays qui négligent la science et la technologie le font à leur propre détriment, car ils restent arriérés. D'autre part, l'exposition montre de façon également frappante que si la science est convenablement utilisée, elle peut apporter d'immenses bienfaits à l'humanité et n'est absolument pas la force destructrice que l'on imagine encore trop souvent. Les preuves apportés par l'Exposition doivent considérablement renforcer les arguments de ceux qui, dans de nombreux pays, militent en faveur du développement de la partie scientifique de l'enseignement général.

Mais il est bon de signaler que l'Exposition de Bruxelles vise à présenter la richesse spirituelle de l'homme aussi bien que sa richesse matérielle, rappelant ainsi que le progrès technique seul est stérile.

Les vagues de l'océan

par G. E. R. DEACON

Les difficultés considérables tant pratiques que théoriques de l'étude des vagues de l'océan expliquent pourquoi elles ont été étudiées beaucoup moins à fond que la plupart des formes du mouvement ondulatoire. Cependant, des progrès importants ont été réalisés dans la dernière décennie; ils seront passés en revue ici. Il semble bien que la continuation de cette avance dépende principalement de recherches théoriques et expérimentales plus poussées sur les processus physiques de base.

INTRODUCTION

Il n'est point nécessaire de souligner l'importance considérable, tant pratique que théorique, de ces oscillations régulières à la base des vagues de l'océan. L'étude d'une variété de sujets a suscité l'examen approfondi du mouvement ondulatoire; nous citerons l'acoustique, l'optique, la radiotélégraphie, la structure de l'atome, les marées et les maladies cardiaques. Il est donc surprenant que la forme la plus longtemps connue de ce mouvement, celle des vagues de l'océan qui ont donné leur nom au genre tout entier, n'aient été étudiées de près que très récemment.

Il serait néanmoins injuste de négliger l'apport de maint chercheur du début, notamment du dix-neuvième siècle. Chacun sait que l'amplitude des vagues n'est pas uniforme. La tradition veut que la septième vague soit toujours exceptionnellement haute; selon Ovide c'est la dixième. En réalité une règle aussi simple n'existe pas. Toutefois il y a assez de régularité entre l'alternance des groupes de vagues hautes et basses lorsqu'elles arrivent au rivage pour évoquer une comparaison étroite avec le battement de deux ondes sonores. Le battement postule un mélange d'ondes de longueur différente: tantôt elles sont au pas et se renforcent, tantôt elles se déphasent et se neutralisent partiellement. Malheureusement l'application de cette conception aux vagues de la mer se heurtait à des difficultés théoriques et expérimentales qui n'ont pu être abordées que récemment. Déjà en 1876 G. G. Stokes comparait les groupes de vagues basses et hautes à des battements sonores, mais son travail classique et ceux de F. Gerstner, A. L. Cauchy, S. D. Poisson, Kelvin, Rayleigh et d'autres reposaient sur l'hypothèse qu'il s'agissait d'un train d'ondes unique d'un profil harmonique simple. En 1947, H. U. Sverdrup et W. H. Munk [1] reconnaissaient l'interférence d'ondes, mais, afin de prédire la configuration des vagues ils devaient, comme bien d'autres, supposer qu'il y a une longueur d'onde dominante de vagues plus grandes ou «significatives» qu'on peut reconnaître et dont on peut déterminer les équations théoriques et empiriques.

Les grandes vagues sont très impressionnantes et la mesure de leur hauteur présente un intérêt très général. Au cours de six années d'observations en un point à 1,5 km au large de la côte nord des Cornouailles, la plus grande vague avait 11 mètres de hauteur, mais en pleine mer il n'est pas rare d'en voir de 15 mètres. On a enregistré une fois des vagues de 18 mètres (figure 3).

ANALYSE D'ONDES

D'après les théories modernes on peut considérer la surface de la mer comme une somme infinie de trains d'ondes simples de fréquences différentes ayant un spectre de fréquences continu. Les conditions locales du vent et la propagation de vagues à partir de zones de tempêtes éloignées détermineront la répartition de l'énergie parmi les longueurs d'ondes diverses en un point donné. On parvient à calculer de façon très précise les variations du spectre et du contenu energétique des diverses longueurs d'onde. La précision atteinte dépendra de la durée des observations et de l'allure à laquelle la configuration des vagues varie.

Il semble que la première tentative sérieuse en vue d'obtenir une analyse spectrale des vagues de la mer ait été effectuée en 1944–45 par une équipe océanographique de l'*Admiralty Research Laboratory* à Teddington. Ils se servirent des graphiques de hauteur de vagues donnés par des enregistreurs placés au fond de la mer sur la côte septentrionale des Cornouailles, à 900, 1 800 et 2 700 mètres de la côte. Bien que les enregistreurs fussent relativement si proches l'un de l'autre on remarqua que l'interférence entre les vagues de différentes longueurs d'onde et de vitesses différentes identifiées sur un appareil étaient méconnaissables sur le suivant. On avait donc la confirmation de

l'observation déjà faite au sujet des vagues se propageant dans la profondeur, qu'on ne peut suivre longtemps des yeux une crête de vague individuelle avant qu'elle perde son identité.

On a conclu des expériences des Cornouailles qu'il ne serait guère possible de préciser la prédiction des configurations d'ondes tant qu'on ne pourrait calculer la répartition de l'énergie dans les diverses longueurs d'ondes avec la même précision que dans les autres branches de la physique.

Le premier appareil pour l'analyse des vagues marines fut décrit en 1946 [2]. Un enregistrement d'onde profilé en noir sur un papier photographique de 14 cm de large est enroulé à la surface extérieure d'un tambour de 76 cm de diamètre. Un faisceau de lumière tombe transversalement sur l'enregistrement et l'intensité de la lumière diffusée est mesurée au moyen d'une cellule photoélectrique. Quand le tambour tourne on obtient donc un équivalent électrique du profil ondulatoire. Le signal électrique alimente un filtre de fréquences fixes, recouvrant une bande étroite dont le rendement est redressé et enregistré sur une seconde bande de papier. En pratique on fait tourner le tambour et on le laisse ralentir naturellement sous l'effet du frottement. De la sorte chaque longueur d'onde du graphique résonne à son tour avec le filtre et l'enregistreur inscrit un spectre d'amplitude. Afin de le calibrer en longueurs d'onde on analyse simultanément un deuxième graphique porteur des longueurs d'onde connues au moyen d'un second système optique avec filtre du côté opposé du tambour.

L'innovation essentielle de cet instrument qui le rend si commode est le ralentissement continu de la vitesse du tambour, amenant tour à tour chaque fréquence en résonance. Avec cet appareil une analyse Fourier complète est effectuée en un quart d'heure; on prend soin de varier la vitesse de changement de fréquence parallèlement aux caractéristiques du filtre de façon à obtenir la pleine résonance pour chaque harmonique. Des tentatives en vue d'accélérer le procédé a amené des difficultés. Dans les versions modernes de cet instrument (figure 2) la vitesse du tambour est réglée par la décharge exponentielle d'un condensateur à travers une résistance très élevée. On l'a construit tout petit pour l'emploi en mer; Tucker l'a décrit brièvement [3].

On a préconisé plusieurs techniques de remplacement qui toutes peuvent nous aider, mais notre appareil est encore trop utile pour qu'on le rejette à la légère. Il nous donne les renseignements sous la forme requise pour la prévision de la houle et nous donne plus qu'on ne pourrait déduire par autocorrélation simple. Il a permis de faire bien des progrès, notamment de formuler une nouvelle théorie des mouvements des navires en passant du traitement de modèles de navires dans des vagues régulières aux vrais navires dans des configurations complexes de vagues.

L'obtention d'enregistrements de vagues pour analyse ne constitue plus un problème sérieux. Tucker [4] a décrit des appareils permettant de mesurer des vagues à la côte, au fond de la mer à 1,5 km de la côte, en avion et en bateau. La figure 4 illustre une bouée pour la mesure de vagues. La mesure sur un bateau en marche est le développement le plus frappant: une combinaison ingénieuse d'enregistreurs de pression et d'accéléromètres permet d'effectuer des mesures [5]. On mesure la pression variable en deux points sous la surface de l'eau de part et d'autre du navire tandis que des accéléromètres accouplés permettent de tenir compte du déplacement vertical des points de mesure. Des enregistreurs d'ondes de ce type sont en place sur dix navires — trois anglais, trois français et quatre américains — et l'on a déjà recueilli une matière considérable pour l'analyse. D. E. Cartwright [6] a utilisé ces enregistreurs pour déduire la direction de propagation des vagues des changements apparents de fréquence lorsque le parcours du navire suit un dodécagone régulier. Avec la collaboration de L. J. Rydill [7] il a fortement élargi la théorie du mouvement des navires en combinant ces résultats avec l'enregistrement simultané du roulis, du tangage et de la houle.

SPECTRES D'ONDES

L'analyse des vagues par les méthodes précédentes s'est révélée très féconde. La figure 1 représente une partie typique d'un enregistrement avec le spectre d'onde correspondant. On verra que le plus clair de l'énergie des vagues est contenu dans des vagues ayant des périodes de 7 à 14 secondes; le restant se trouve dans une bande de vagues plus longues de 18 à 20 secondes. On a souvent du mal à interpréter ces spectres en fonction des conditions météorologiques présentes, mais on peut tirer des conclusions générales importantes de l'analyse des vagues produites dans des conditions assez simples. Dans ce cas les vagues se comportent comme si elles émanaient d'une multitude de sources ponctuelles de perturbation réparties sur toute la surface sur laquelle le vent souffle. La longueur d'onde maximum correspond à la force maximum du vent; on verra plus loin que cette relation est très importante.

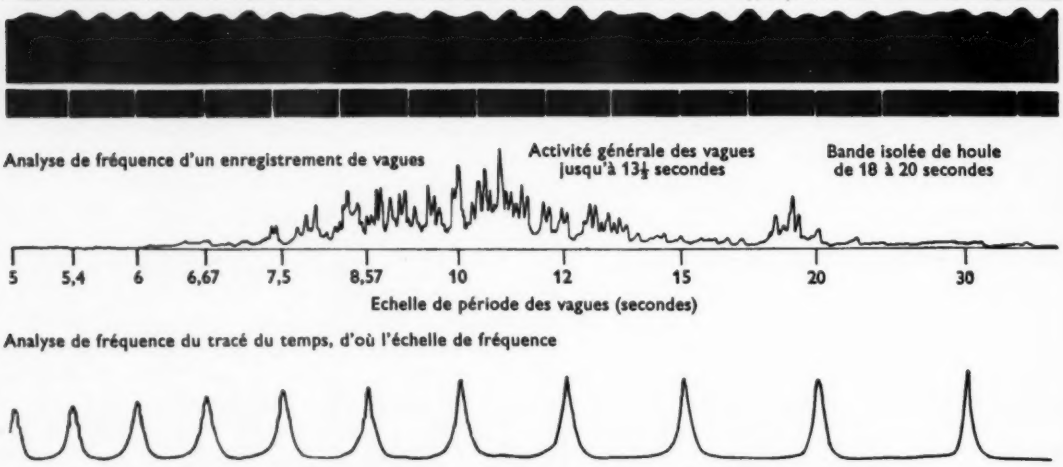


FIGURE 1 – *Enregistrement de vagues (au-dessus) avec analyse de fréquence juste au-dessous.*

On ne sait pas exactement ce qui se passe lors de la formation des vagues, mais on doit supposer qu'il y a une sorte d'action réciproque des diverses composantes de la vague permettant le transfert d'énergie des vagues courtes aux longues tandis que la longueur d'onde dominante augmente. Par contre, après la tempête on dirait que cette action cesse et que les trains d'onde constitutifs se propagent tous indépendamment l'un de l'autre. En conséquence on observe une configuration instantanée qui est la somme d'une multitude de trains d'ondes possédant des relations de phases au hasard et recouvrant à peu près la même gamme de longueurs d'onde. Ces trains s'étalent à environ 30° à 40° de part et d'autre de la direction dominante du vent.

Dans la figure 1 on remarquera que le spectre commence avec des vagues d'une période de six secondes: c'est parce que le mouvement dans la vague décroît rapidement avec la profondeur. Elle est réduite à environ $\frac{1}{10}^{e}$ de la valeur en surface quand on descend à une demi-longueur d'onde. Le spectre en question provient d'un enregistrement sur un appareil posé sur un fond de 25 m de profondeur et les constituants de courte longueur d'onde n'y apparaissent plus. L'activité générale s'arrête avec des vagues de 14 secondes parce que le vent, cause de l'activité, mesuré à 9 mètres au-dessus de la surface, avait une vitesse de 28 nœuds environ. L'agitation des vagues au sein de la gamme de périodicité de 18 à 20 secondes pourrait provenir d'une tempête lointaine avec un vent de plus de 40 nœuds.

Une tempête de cette intensité provoque des trains d'ondes comprenant toute une gamme de vagues d'une période allant jusqu'à 20 secondes. Vu leur propagation relativement lente les vagues de moins de 18 secondes n'avaient pas encore atteint la station au moment de l'enregistrement de la figure 1. Comme la perturbation se répand du centre de tempête les vagues les plus longues s'éloignent de plus en plus des courtes. La première houle qui arrive à une côte éloignée a une période de 20 secondes environ, et même si l'on tient compte de l'atterrage elle aura peut-être une amplitude de quelques centimètres seulement et une longueur d'onde de plusieurs centaines de mètres. Il se peut qu'on ne l'aperçoive qu'en faible profondeur où elle se ralentit et les crêtes se rapprochent et s'accentuent; on parlera alors de lame de fond. La suite du graphique révélera la houle plus lente et plus courte. La plus haute aura une période de 15 secondes environ, puis elle s'atténuera tant en amplitude qu'en longueur d'onde jusqu'à ce que l'effet de la tempête lointaine se disperse dans les vagues les plus courtes capables de se propager au loin sans se dissiper entièrement.

D'une façon plus précise, si les vagues composantes ne sont pas trop raides elles se propageront indépendamment à partir du centre de tempête avec les vitesses de groupes correspondant à leurs périodes. Si le centre perturbateur est bien défini et suffisamment éloigné de l'enregistreur, on pourra distinguer les groupes successifs. On calculera la distance de la tempête à partir de la différence entre l'arrivée des vagues longues et courtes. Le postulat tacite selon lequel les trains se propagent

indépendamment avec des vitesses prédites par la théorie ondulatoire classique, est justifié par le fait que le calcul se vérifie chaque fois que les conditions météorologiques indiquent clairement l'existence d'un seul centre de tempête.

Des perturbations causées par des tempêtes spécifiques peuvent traverser des distances immenses. Quand il n'y a pas de tempêtes dans l'Atlantique nord les enregistreurs au large des Cornouailles auront leur sensitivité maximum. Les spectres d'onde inscriront souvent une bande de houle dont la périodicité se ralentit si lentement que les calculs déduits de la vitesse relative et la différence d'arrivée ne permettent plus de douter qu'elle a été provoquée par des tempêtes situées près du Cap Horn: en général elle n'aura que quelques centimètres de hauteur. De même, des enregistrements récents déterminés au large de la côte ouest de la Californie ont prouvé l'arrivée d'une houle engendrée au sud de la Nouvelle-Zélande.

FIGURE 2 – *Analyseur d'ondes. Le tambour portant la bande d'enregistrement est à droite.*

MÉTHODES DE PRÉDICTION DE VAGUES

Ainsi que nous l'avons démontré, il est possible de rattacher les spectres d'ondes aux conditions météorologiques dans les circonstances appropriées. Inversement on devrait pouvoir prédire la configuration des vagues en un point donné à partir de renseignements météorologiques correspondants; puisque les vagues reçoivent leur énergie du vent, les cartes et les prévisions de vent devraient nous permettre de prédire les vagues. En fait nous n'avons pas fait les progrès espérés dans ce sens. Les prédictions sur l'état de la mer pour les débarquements de Normandie furent remarquablement précis, mais on a éprouvé des difficultés considérables quand il s'est agi de prédire les vagues des côtes vraiment océaniques ou des îles en plein océan. Ici les connaissances acquises récemment concernant les vitesses de propagation de bandes de vagues différentes sont venues bien à point. Bien que toute l'énergie de la tempête puisse être communiquée en une demi-journée, son arrivée à une côte lointaine prendra souvent plusieurs jours. La répartition spectrale affecte aussi la vitesse de déclin de l'énergie ondulatoire parce que les constituants les plus courts perdent leur énergie plus rapidement.

L'évolution de nos connaissances est entravée par notre ignorance du mécanisme physique du transfert de l'énergie du vent à l'eau. On pense que les principaux facteurs responsables sont la formation de pressions positives du côté des vagues dans le vent et d'une diminution relative de la pression du côté sous le vent, ainsi qu'une traction de frottement due au vent à la surface des vagues; certes les mesures nécessaires sont effectuées mais nous n'avons que peu de renseignements jusqu'ici. La diminution progressive de la hauteur des vagues tandis qu'elles s'éloignent du centre de tempête provient peut-être en partie de la résistance de l'air, mais l'étalement latéral des vagues lors de leur dispersion semble jouer un rôle plus important, de même que la dissipation de l'énergie par viscosité ou déclin de turbulence.

On a aussi abordé le problème de façon empirique; on a analysé les données météorologiques et les enregistrements d'onde. Ici encore les résultats furent décevants une fois de plus. On

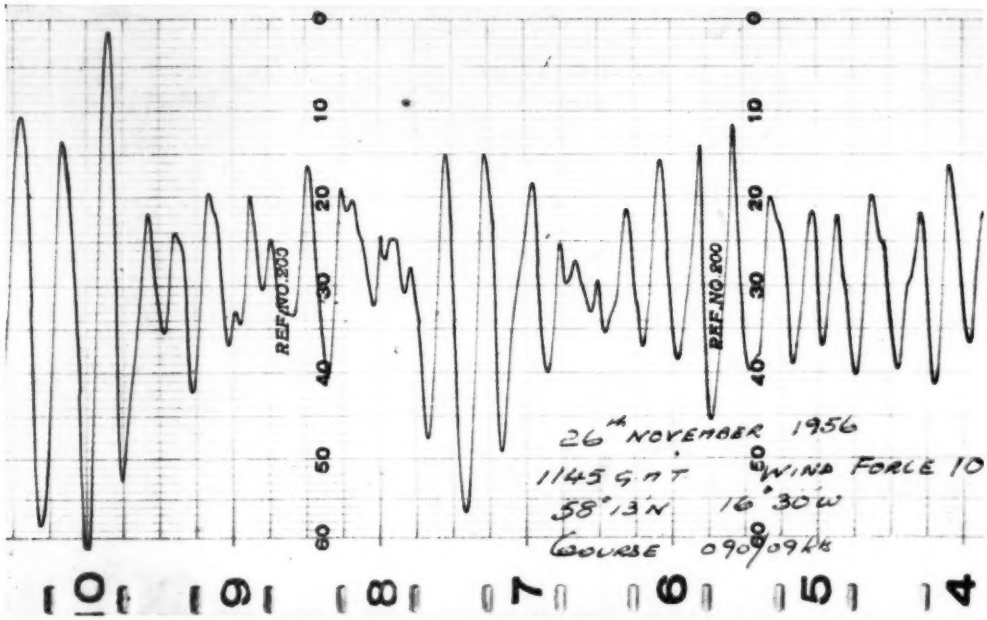


FIGURE 3 – *Enregistrement de grandes vagues pris par le navire météorologique «Weather Explorer» le 26 novembre 1956. L'échelle verticale représente la hauteur de la vague en pieds, et la grande vague à gauche mesure environ 60 pieds (18 m) de la crête au creux. L'échelle horizontale a quatre divisions par minute.*

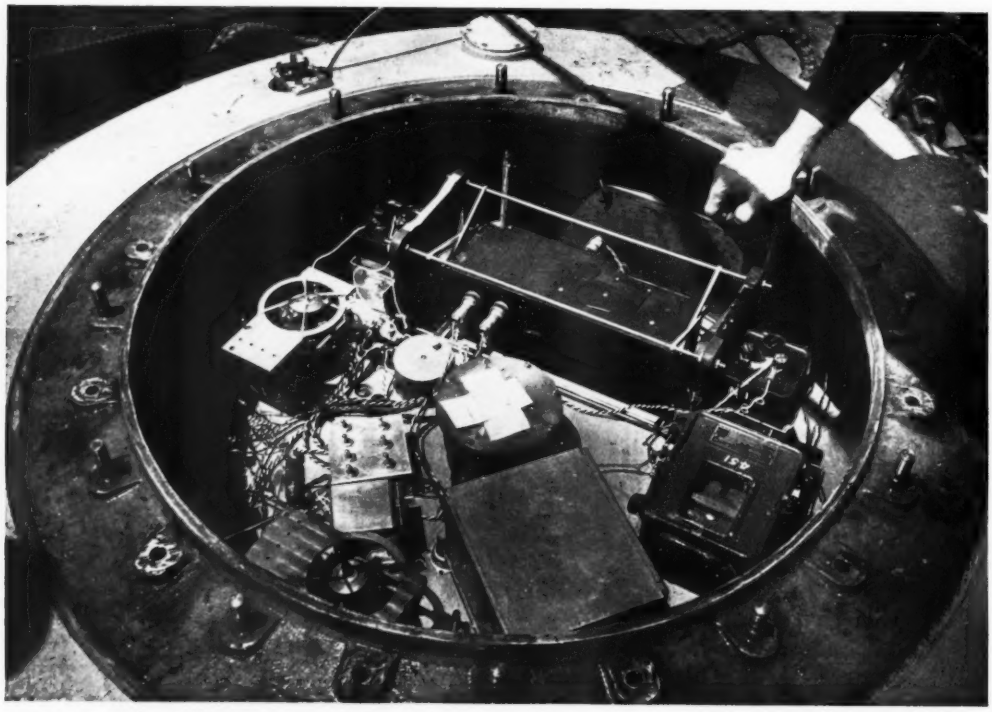


FIGURE 4 – *Bouée de mesure de vagues, employée dans l'étude des variations de la pression d'air au voisinage de la surface de la mer en fonction de la hauteur et l'inclinaison des vagues. Les deux gyroscopes de gauche inscrivent l'inclinaison des vagues dans la direction du vent et perpendiculairement à cette direction. Au centre; boîte ronde contenant un accéléromètre vertical, et, à l'arrière, camera enregistreuse; au premier plan: appareil électronique qui donne le profil des vagues par intégration double du débit de l'accéléromètre et destiné aussi à inscrire le débit du microbarographe placé dans le couvercle (enlevé). La plupart des batteries sont cachées sous le rebord. On a obtenu des graphiques dans des vitesses de vent atteignant 35 nœuds.*

s'est rendu compte, en effet, que les observations de base de cette tentative comprenaient une gamme trop variée de conditions naturelles et étaient influencées par la profondeur, les marées et d'autres facteurs. On sortira sans doute de l'ornière si on unit la théorie et la pratique. A titre d'exemple nous citerons les travaux de O. M. Phillips [8]: on y verra une description raisonnable des premiers stades de la formation de vagues en fonction de grandeurs physiques connues, par exemple, les fluctuations normales de pression dues à la turbulence atmosphérique.

QUELQUES PROGRÈS RÉCENTS

Le fait qu'on peut effectuer actuellement des analyses de fréquence valables a imprimé un essor à l'étude des vagues mêmes, du mouvement des navires et des oscillations microséismiques. Il a été démontré [9, 10] que ces oscillations, proviennent soit de l'interférence de vagues se propageant en sens opposé à la remorque de tempêtes qui se déplacent rapidement, ou par l'interférence entre vagues allant vers le rivage et celles qui s'y réfléchissent. Il est vraisemblable que la mesure de microséismes pourra nous donner des renseignements utiles sur des tempêtes lointaines ou une houle en progression, même si l'on ne dispose pas de cartes météorologiques pour la région en question.

W. J. Pierson, en Amérique, et M. S. Longuet-Higgins [11] en Angleterre envisagent la surface de la mer comme un phénomène statistique à deux dimensions; ils ont calculé la plupart des répartitions statistiques relatives à des surfaces de ce genre. On a élaboré de nouvelles techniques afin de mesurer diverses propriétés telles que les intervalles entre les crêtes dans n'importe quelle direction, le nombre de points de lumière solaire réfléchie par unité de surface ainsi que la répartition statistique de leur vitesses et la longueur et la direction des contours des vagues. Grâce à ces nouveaux spectres à deux dimensions nous en apprendrons beaucoup plus sur la répartition de l'énergie superficielle. C. Cox et W. H. Munk [12], par exemple, ont mesuré la répartition de l'énergie de la surface de la mer en photographiant le scintillement dû au soleil. Une connaissance plus approfondie de la nature de la surface devrait faciliter la recherche des mécanismes à la base du transfert de l'énergie du vent aux vagues.

L'accroissement de nos études a entraîné des applications pratiques de plus en plus nombreuses. Les examens statistiques par exemple, ont contribué à l'étude du mouvement des navires. Cartwright et Rydill ont pu calculer, à partir du spectre d'onde, la probabilité de l'arrivée d'amplitudes maxima, de vitesses et d'accélérations de mouvements dans la structure de navires.

L'étude de courants côtiers dus aux vagues a progressé de façon notable aussi: elle a porté notamment sur le transport d'eau par les vagues [13], les déplacements de sable au fond de la mer [14] et les courants de retour si dangereux pour les baigneurs [15].

F. P. Shepard a trouvé à ce sujet des indications très nettes qui montrent l'existence de courants puissants vers la mer en divers points des côtes battues par de grandes vagues. Ils se composent de courants étroits qui traversent les vagues et se dispersent en éventail au-delà. On les rencontre même là où il y a peu de marées et, en avion ou sur de hautes falaises, on les reconnaît à l'écume ou à l'eau décolorée qui s'éloignent de la côte. Le nageur qui y est pris peut s'échapper en nageant parallèlement au rivage.

REMERCIEMENT

L'auteur tient à remercier ses collègues du *National Institute of Oceanography* pour leurs critiques constructives lors de la rédaction de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

[1] SVERDRUP, H. U. et MUNK, W. H. *U.S. Hydrographic Office Tech. Rep.* No. 1, *H.O. Publ.* No. 601, 1947.
[2] BARBER, N. F., URSELL, F., DARBYSHIRE, J., et TUCKER, M. J. *Nature, Lond.*, **158**, 329, 1946.
[3] TUCKER, M. J. *Proc. 1st Conf. Coastal Engng Instruments*, Berkeley, Californie, 129, 1956.
[4] *Idem. Dock Harb. Author.*, **34**, 207, 1953.
[5] *Idem. Nature, Lond.*, **170**, 657, 1952.
[6] *Idem* (avec appendice par CARTWRIGHT, D. E.). *Trans. Instn nav. Archit., Lond.*, **98**, 236, 1956.
[7] CARTWRIGHT, D. E. et RYDILL, L. J. *Ibid.*, **99**, 100, 1957.
[8] PHILLIPS, O. M. *J. Fluid Mech.*, **2**, 417, 1957.
[9] LONGUET-HIGGINS, M. S. *Phil. Trans.*, *A*, **243**, 1, 1950.
[10] DARBYSHIRE, J. *Proc. roy. Soc.*, *A*, **223**, 96, 1954.
[11] LONGUET-HIGGINS, M. S. *Phil. Trans.*, *A*, **249**, 321, 1957.
[12] COX, C. et MUNK, W. H. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, **6**, 401, 1956.
[13] LONGUET-HIGGINS, M. S. *Phil. Trans.*, *A*, **245**, 535, 1953.
[14] BAGNOLD, R. A. *Proc. roy. Soc.*, *A*, **187**, 1, 1946.
[15] SHEPARD, F. P. *Phys. Today*, **2**, 20, 1949.

L'origine du système solaire

par SIR HAROLD SPENCER JONES

Depuis longtemps, les astronomes se sont intéressés aux théories relatives à l'origine du système solaire. Ces théories peuvent être divisées en deux groupes. On examinera dans cet article celles de l'un et l'autre des deux groupes. Le premier groupe suppose le système solaire constitué par évolution lente à partir d'une masse initiale, le second est basé sur l'idée d'un cataclysme provoqué par la rencontre du Soleil et d'un autre corps céleste. On suggère le développement probable d'une théorie satisfaisante.

Il a été reconnu depuis longtemps que le système solaire présente tant de régularités frappantes que sa formation ne peut être due au hasard. Les planètes — dont les plans orbitaux coïncident presque — tournent autour de leurs axes dans le sens de leur révolution autour du Soleil, sens qui est le même que celui de la rotation du Soleil sur lui-même. La plupart des satellites se déplacent également sur des orbites d'excentricité faible, d'inclinaison faible par rapport au plan équatorial de la planète et leurs mouvements sont de même sens que celui des planètes. Les satellites extérieurs de Jupiter et de Saturne et ceux de Neptune sont cependant des exceptions.

Les distances des planètes au Soleil présentent un certain degré de régularité donné approximativement par la loi de Bode, exception faite de Pluton, la planète la plus lointaine.

On peut classer les planètes en deux groupes: quatre planètes intérieures de masse relativement faible (la Terre étant la plus lourde) et de densité moyenne élevée (4,2–5,5 g/cm^3) et quatre planètes extérieures de masse importante et de densité faible (0,7–1,6 g/cm^3). La plus extérieure de ces planètes, Pluton, est de masse faible et il semble probable qu'elle fut, à l'origine, un satellite de Neptune.

Un caractère remarquable du système solaire réside dans le fait que la presque totalité de son moment cinétique est réparti dans les mouvements orbitaux des grandes planètes (98%) tandis que presque toute sa masse (99,87%) est concentrée dans le Soleil.

Au cours des deux derniers siècles, on proposa un grand nombre de théories pour expliquer l'origine du système solaire. On peut les classer en deux groupes: le premier groupe suppose que le système provient de la lente évolution d'une masse initiale; le second se base sur l'hypothèse suivante: le système résulterait d'une interaction catastrophique du Soleil et d'un autre corps céleste. Les hypothèses les plus anciennes sur l'origine du système illustrent ces deux points de vue. En 1745, Buffon suggéra que des fragments de matière arrachés au Soleil, lors d'une collision avec une énorme comète, avaient été à l'origine de la formation des planètes. En 1755, Kant supposa que le Soleil était initialement au centre d'une nébuleuse gravitant autour de lui. Les collisions mutuelles entre les différentes particules auraient contribué à aplatir la nébuleuse en un disque à l'intérieur duquel se serait produite une condensation graduelle autour des agrégats les plus denses. Ces agrégats, tous en rotation, auraient continué à se condenser pour former, soit une planète, soit un système planète-satellites. Partant de la même hypothèse que Kant, Laplace proposa, en 1796, que la nébuleuse se trouvait, à l'origine, à haute température, et qu'elle s'était contractée graduellement lors de son refroidissement, sa rotation devenant plus rapide afin de satisfaire à la conservation de son moment cinétique. Lorsque au niveau de l'équateur la force centrifuge devint supérieure à l'attraction gravitationnelle, un anneau de matière s'en détacha. Ce processus se répéta plusieurs fois, la condensation de chacun des anneaux donnant une masse unique; on a supposé que dans certains d'entre eux, un phénomène identique a donné naissance au système des satellites.

Les hypothèses de Kant et de Laplace soulèvent de nombreuses objections: en particulier, elles ne rendent pas compte de la distribution du moment cinétique dans le système. Si, par exemple, la totalité du moment cinétique du système était concentrée dans le Soleil, sa période de rotation serait de 12 heures environ; mais la force centrifuge à son équateur ne serait que 5% environ de la force gravitationnelle et la projection des anneaux de matière supposée par Laplace ne serait pas possible.

Pour tourner les difficultés du problème du

moment cinétique, on fit, depuis le début de ce siècle, plusieurs tentatives afin d'établir une théorie valable basée sur l'intervention d'un corps étranger. Une telle action impliquerait des changements dans la distribution du moment cinétique et, ainsi, rendrait concevable l'idée d'un mécanisme de formation de planètes dotées d'un moment cinétique important. La première tentative dans ce sens fut l'hypothèse planétésimale développée par T. C. Chamberlin [1] et F. R. Moulton [2] qui présumèrent qu'à une époque lointaine une autre étoile avait passé à proximité du Soleil produisant à sa surface une série d'éruptions énormes accompagnées d'éjections de matières. Par l'attraction de l'astre, la matière éjectée fut plus ou moins entraînée dans le plan du mouvement relatif des deux corps. Par refroidissement la matière se condensait en gouttes liquides qui se solidifiaient rapidement formant les planétésimales. On suppose que ses parties plus denses ont formé les noyaux des planètes qui se sont développées par un accroissement des planétésimales lors de leur révolution autour du Soleil. La matière résiduelle constitua un milieu résistant qui eut pour effet de réduire progressivement les excentricités des orbites.

H. Jeffreys [3] fit remarquer que la fréquence des collisions entre les planétésimales et leurs grandes vitesses relatives aurait entraîné leur volatilisation bien avant une concrétion appréciable. H. Jeffreys et J. H. Jeans [4] modifièrent cette théorie en supposant que le passage d'un astre au voisinage du Soleil fit jaillir la matière sous forme d'un long filament incurvé qui, étant instable, se sépara en un certain nombre d'éléments distincts, en mouvement orbital autour du Soleil. Quelques-uns de ces fragments se brisèrent lors de leur premier retour au voisinage du Soleil et produisirent les satellites. Une certaine quantité de matière, encore à l'état de condensation partielle, retomba sur le Soleil, lui communiquant un mouvement de rotation de même direction que les mouvements orbitaux. Sous cette forme, cette théorie ne résiste pas à une étude approfondie: elle ne rend pas compte, par exemple, des difficultés du moment cinétique.

Afin de surmonter ces objections, l'hypothèse d'une rencontre stellaire a été modifiée de différentes façons, ce qui la rendit encore plus improbable. Jeffreys [5] supposa une collision effective entre l'astre et le Soleil et non pas seulement un passage à proximité. Cependant H. N. Russell [6] montra que, dans l'hypothèse la plus favorable, le moment cinétique par unité de masse de la matière que l'on supposait constitutive des planètes, serait moins de $\frac{1}{10}^{e}$ du moment cinétique moyen par unité de masse du système planétaire effectif. Pour éviter cette difficulté, il suggéra qu'à l'origine, le Soleil aurait été une étoile double et que la collision aurait eu lieu, non pas avec le Soleil lui-même, mais avec son plus petit compagnon. R. A. Lyttleton [7] étudia ce problème et il trouva que l'astre percuteur ainsi que le compagnon du Soleil auraient pu s'échapper du système en abandonnant une quantité de matériau suffisante pour former les planètes. Ceci permettrait de résoudre la difficulté relative au moment cinétique.

La température des matériaux provenant d'un astre au moment de son rapprochement ou de sa collision effective avec un autre astre serait très élevée et par suite, la vitesse moyenne des atomes serait très grande. L. Spitzer [8] montra que dans ces conditions, la dilatation du filament, sous l'action de sa propre pression interne, serait beaucoup plus rapide que sa perte en énergie par rayonnement ou par turbulence. Le filament ne se condenserait pas en planètes distinctes, mais une partie s'échapperait dans l'espace interstellaire, tandis que le reste formerait une enveloppe gazeuse autour des astres en question. Aucune des modifications de l'hypothèse d'une rencontre ou d'une collision du Soleil avec une autre étoile ne peut satisfaire à cette objection et tous les essais ultérieurs tendant à expliquer l'origine du système solaire sont basés sur l'hypothèse d'une évolution graduelle à partir d'un système initial. Toutes ces théories supposent que le Soleil était au centre d'un nuage diffus de gaz et de poussières, jadis nuage interstellaire rencontré par le Soleil, ou nuage dont le Soleil serait lui-même, soit un condensat, soit une phase intermédiaire de sa condensation.

H. Alfvén [9] proposa une autre théorie du système solaire, suivant laquelle le Soleil possédait autrefois un champ magnétique intense, et qu'il était au dernier stade de son développement, à une température voisine de sa température actuelle. Le nuage gazeux enveloppant le Soleil aurait été ionisé par le rayonnement solaire. Le degré d'ionisation d'un élément quelconque dépendrait de sa température et par conséquent de sa distance du Soleil. Dans une région intérieure d'une zone entourant le Soleil, tous les éléments seraient ionisés, mais en s'éloignant du Soleil, la température diminuant progressivement, on trouverait, parmi les constituants principaux du nuage, cessant successivement d'être ionisés, l'hélium,

l'hydrogène, l'oxygène, le carbone, le silicium, le fer, le magnésium.

D'après Alfvén, le champ magnétique autour du Soleil tendrait à retarder la chute des éléments ionisés vers le Soleil par attraction gravitationnelle; ainsi la composition chimique du nuage dépendrait de sa distance du Soleil. Dans sa chute, un constituant donné atteindrait une distance à laquelle se produirait l'ionisation causée par l'augmentation de la température. Toute chute ultérieure serait arrêtée à une distance proportionnelle à la distance à laquelle l'énergie gravitationnelle est égale à l'énergie d'ionisation.

Lorsqu'un constituant quelconque est ionisé, la force électromagnétique tend à l'accélérer jusqu'à ce qu'il atteigne la vitesse angulaire du Soleil. Il y a un transfert magnéto-hydrodynamique du moment cinétique du Soleil au profit du nuage. Les gaz ionisés se déplaceraient le long des lignes de force magnétique et seraient amenés dans le plan équatorial où ils deviendraient la matière première constitutive des planètes. A l'intérieur d'une certaine région proche du Soleil, la gravitation serait telle que la matière de cette région retomberait sur le Soleil. Alfvén a donné des raisons permettant de supposer que quatre nuages principaux, de composition différente, se seraient formés par ce processus, leurs principaux constituants étant respectivement l'hélium, l'hydrogène, le carbone et le fer silicium, sans toutefois qu'il y ait de séparation très nette entre eux.

La difficulté de la théorie d'Alfvén provient de ce que le champ magnétique du Soleil devrait dépasser une certaine valeur critique; on avait postulé que ce champ s'opposant au champ de gravité, empêchait la matière environnante en suspension de retomber, ceci pendant de longues périodes au cours desquelles avait lieu la séparation diffusive des différents éléments. Cette valeur critique est de 300 000 gauss alors que le champ magnétique actuel du Soleil n'est que d'un gauss, même à sa surface. En outre, aucune discussion n'indique de façon satisfaisante par quel mécanisme le champ magnétique pourrait maintenir le nuage malgré la force de gravité et transformer l'énergie gravitationnelle en énergie thermique et en énergie d'ionisation au moment de la chute du nuage.

C. F. von Weizsäcker [10] a formulé une théorie générale très qualitative qui insiste sur l'importance des considérations hydrodynamiques et les effets de turbulence. Il admet que le Soleil s'est trouvé au centre d'un nuage gazeux d'extension voisine de celle des limites actuelles du système solaire et dont la masse aurait été environ $\frac{1}{10}^{e}$ de celle du Soleil; ce nuage serait dû à la condensation d'un tourbillon du grand nuage gazeux qui constitue notre galaxie. Le moment cinétique des différents tourbillons serait provoqué par leurs collisions mutuelles à l'intérieur du nuage. La turbulence ainsi développée, associée aux frictions internes, aurait changé la forme et les orientations des trajectoires des particules jusqu'à réduire les orbites à la forme circulaire au voisinage du plan équatorial du Soleil. Des forces de viscosité seraient apparues, tendant à égaliser les vitesses angulaires des différentes parties du nuage en freinant le mouvement rapide des régions intérieures et en accélérant le mouvement lent des régions extérieures. Il y aurait donc eu transfert graduel du moment cinétique vers l'extérieur, le matériau de moment cinétique faible se concentrant vers le centre de telle façon que la masse centrale en rotation lente soit enveloppée par un nuage gazeux aplati en rotation rapide.

Le régime de turbulence se serait superposé à la rotation Képlerienne. Les particules de mouvement moyen identique se seraient rassemblées en tourbillons et Weizsäcker a supposé que les tourbillons se sont disposés d'eux-mêmes en une succession d'anneaux, l'arrangement le plus stable étant obtenu par un nombre entier de tourbillons dans chaque anneau. Entre les anneaux successifs, des gradients de vitesse élevés auraient donné naissance à une résistance visqueuse importante. Des tourbillons secondaires, comparables à des roulements à billes, se seraient formés suivant les cercles séparant les tourbillons principaux, leur rotation étant de sens opposé à celle de ces derniers. D'après Weizsäcker, la condensation aurait débuté dans ces roulements à billes et au cours des stades suivants, la croissance aurait eu lieu par attraction gravitationnelle lorsque la masse excédait une certaine valeur critique. Comme il n'y aurait jamais eu de symétrie parfaite, les condensats seraient de dimensions différentes. Les condensations les plus importantes auraient attiré plus ou moins vite les plus petites, et, éventuellement, les tourbillons de chaque anneau ont pu se réunir pour former une protoplanète. Il a aussi suggéré que, dans les atmosphères de ces planètes, une séquence d'événements analogues aurait engendré finalement les systèmes de satellites.

En supposant empiriquement qu'il y avait eu cinq tourbillons dans chaque anneau, Weizsäcker obtint une représentation satisfaisante des distances relatives de Mars, des astéroïdes, de Jupiter, de

Saturne et d'Uranus. Néanmoins, S. Chandrasekhar et D. ter Haar [11] ont montré que les tourbillons postulés par Weizsäcker ne pouvaient prendre naissance en régime de turbulence.

Reprenant les idées de base de cette théorie, Kuiper [12] l'a modifiée en attribuant un rôle important au phénomène d'instabilité gravitationnelle. Il admet la répartition spectrale de turbulence de Kolmogoroff[1] et conclut que l'on peut trouver des grands tourbillons n'importe où au sein du nuage et des tourbillons secondaires aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des tourbillons principaux. La durée d'existence des tourbillons est relativement courte. Ils se forment et se dispersent de façon continue. Pour que leur condensation ait lieu, leur densité doit être supérieure à la valeur critique pour laquelle les attractions internes à l'intérieur du nuage sont égales aux forces de friction des marées soulevées par le Soleil, sinon des éruptions par l'action de ces marées se produiraient. Kuiper suppose que la formation de masse planétaire s'est produite essentiellement à la densité critique pour chacune des condensations.

Ces condensations sont à l'origine des protoplanètes, d'abord de composition essentiellement cosmique, qui s'étendaient sur la moitié environ de la largeur de l'anneau dont elles avaient tiré leur matériau. Leurs masses étaient certainement bien supérieures aux masses planétaires actuelles bien que leur distance fût presque la même.

Pour expliquer comment les protoplanètes ont par la suite perdu leur masse et comment ont survécu les planètes actuelles Kuiper suppose qu'elles ont été formées par contraction avant que le rayonnement solaire ne soit intense pendant la période de Helmholtz-Kelvin, c'est-à-dire, avant la période de régime thermonucléaire. La comparaison entre le contenu énergétique des protoplanètes, approximativement connu, et des planètes actuelles, indique la nécessité d'un apport d'énergie important aux protoplanètes pour rendre possible l'évaporation de la majeure partie de leur matière, et seul, le Soleil peut avoir fourni cette énergie. Il considère qu'après la contraction complète du Soleil et un accroissement rapide de sa température, le nuage environnant s'est ionisé et la vitesse angulaire du Soleil a été réduite par couplage magnétique avec la matière ionisée en contact. Le rayonnement corpusculaire solaire entraîna les ions; les espaces laissés vides se comblèrent hydrodynamiquement à partir de régions plus denses et le matériau nouveau fut à son tour ionisé et éjecté. Ainsi l'espace interplanétaire fut graduellement et complètement dégagé. Des exosphères à haute température se formèrent sur la lisière extérieure des protoplanètes, ceci fut suivi d'évaporations vers l'espace interplanétaire, la matière ainsi évaporée étant entraînée de façon continue. L'évaporation des enveloppes des protoplanètes peut expliquer de façon plausible les obliquités actuelles des planètes sauf celle d'Uranus.

Les cinq plus grands satellites (les quatre satellites de Jupiter découverts par Galilée et Titan de Saturne) se formèrent à l'intérieur des protoplanètes suivant un processus du même type que celui des planètes. Les autres satellites seraient d'origine hybride, constitués à partir de l'agrégation de matériaux solides condensés, avant que les effets de gravitation ne deviennent importants. La perte consécutive de masse des protoplanètes conduisit à une expansion proportionnelle du système des satellites. Quelques satellites extérieurs peuvent avoir été perdus dans l'espace interplanétaire et avoir été par la suite soit capturés à nouveau par les protoplanètes pour former des satellites, soit à l'origine des astéroïdes dits «troyens». La région extérieure de la nébuleuse solaire a une densité inférieure à la limite à laquelle les protoplanètes peuvent se former. Les produits de condensation tels que l'eau, l'ammoniaque, le méthane, etc., à l'état solide ou de gel, ont dû prendre naissance dans cette région par suite des basses températures, puis se rassembler lentement pour former d'immenses agrégats. Kuiper suggère que ces agrégats furent les comètes qui se sont dispersées ensuite à travers le système solaire sous l'action perturbatrice des planètes extérieures.

Le savant soviétique O. Y. Schmidt a publié une série d'articles [13] sur l'origine des étoiles doubles et du système solaire. Il suppose que le Soleil, dans sa révolution au centre de la Galaxie a traversé un nuage de matière interstellaire dont il a capturé une grande partie. Une telle capture n'est possible que si la vitesse relative du Soleil par rapport au nuage est faible. En général, il n'en serait pas ainsi, et Schmidt en conclut que relativement très peu d'étoiles pourraient capturer un nuage et se développer en système planétaire.

Le nuage capturé par le Soleil était constitué en partie de gaz et en partie de particules de poussières, et, à cause de sa densité faible, devait avoir des dimensions très supérieures à celles du système solaire actuel. Le nuage se serait contracté

[1] Suivant Kolmogoroff, les dimensions des tourbillons en régime de turbulence sont données par la relation

$$F(\lambda)d\lambda = C\lambda^{-1}d\lambda$$

dans laquelle λ représente la dimension du tourbillon.

graduellement sous l'attraction gravitationnelle du Soleil. Le mouvement des particules du nuage autour du Soleil aurait eu la même direction d'ensemble, mais les dimensions de leurs orbites individuelles — élongation et inclinaison sur le plan central du nuage — varieraient dans de grandes proportions. Les collisions entre les particules les amèneraient en un disque aplati, constitué de poussières et de corps solides, semblable aux anneaux de Saturne, en révolution autour du Soleil et enveloppé d'un nuage gazeux.

Les plus grosses particules ont vu leurs dimensions s'accroître par le rassemblement de particules plus petites et un grand nombre d'agrégats se formèrent à l'intérieur du disque, capable de résister aux forces de destruction des marées provoquées par le Soleil. De ces collisions, il a résulté une diminution des vitesses relatives des particules et une contraction consécutive des agrégats, tandis qu'une grande partie de l'énergie cinétique était transformée en chaleur et rayonnait dans l'espace. Ces particules qui, lors de la collision, ont acquis des orbites très allongées, étaient capturées par le Soleil lorsqu'elles s'en approchaient, ainsi le Soleil acquit graduellement un mouvement de rotation lent de même sens que celui du nuage. Schmidt considère ces agrégats comme les embryons des planètes. Si deux embryons se déplaçaient suivant des orbites voisines, celui qui était le plus près du Soleil se développait d'abord par acquisition de particules de moment cinétique spécifique plus petit, et le plus éloigné par acquisition de particules de moment cinétique spécifique plus grand; ainsi leurs orbites glisseraient graduellement vers le Soleil pour le premier, et en direction opposée pour le second. Schmidt a montré que si une fraction suffisamment grande de l'énergie cinétique primitive des particules était transformée en chaleur, l'agrégat planétaire acquerrait une rotation dans le sens direct.

Schmidt aboutit à la conclusion qu'étant donné une distribution uniforme de matière dans le nuage initial, le moment cinétique spécifique des planètes devrait augmenter par «sauts» d'égale valeur lorsqu'on s'éloigne du Soleil. Le moment spécifique d'un corps en révolution autour d'une masse centrale est proportionnel à la racine carrée de son rayon orbital. Ainsi les racines carrées des rayons orbitaux des planètes devraient se trouver approximativement en progression arithmétique. Cette solution est à peu près vérifiée pour les planètes intérieures, de Mercure à Mars, et aussi pour les planètes extérieures de Jupiter à Pluton, le «saut» d'une planète à la suivante étant un peu plus grand pour les planètes extérieures que pour les planètes intérieures; ceci est attribué à la différence des propriétés des zones intérieure et extérieure du nuage.

L'argumentation de Schmidt est très qualitative et il semble beaucoup plus probable que le stade initial de formation des planètes ait consisté dans la perte par de grandes protoplanètes d'une importante quantité de leur matière première initiale comme l'exigeait la théorie de Kuiper.

Le problème de l'élaboration d'une théorie satisfaisante ne peut pas être encore considéré comme résolu, bien que des progrès importants aient été réalisés au cours des dernières années. On a abandonné les théories mettant en cause un passage d'une étoile à proximité du Soleil ou encore une collision effective, et on peut chercher une explication dans l'évolution d'un système en extension contenant du gaz et des particules solides. On sait qu'à peu près la moitié des étoiles les plus proches sont constituées par des systèmes doubles ou multiples et la formation d'un système planétaire peut en être un cas particulier. Une des difficultés inhérentes du problème réside dans le fait qu'il n'est pas susceptible d'analyse mathématique exacte. La théorie de Kuiper paraît donner l'explication la plus plausible des caractères principaux du système solaire et semble à même, moyennant quelques modifications, de conduire à une théorie universellement acceptable.

RÉFÉRENCES

[1] CHAMBERLIN, T. C. *Astrophys. J.*, **14**, 17, 1901.
[2] MOULTON, F. R. *Ibid.*, **22**, 165, 1905.
[3] JEFFREYS, H. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **78**, 424, 1918.
[4] JEANS, J. H. *Ibid.*, **62**, 1, 1917; «Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics». Cambridge University Press, Londres. 1919.
[5] JEFFREYS, H. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **89**, 636, 1929.
[6] RUSSELL, H. N. «The Solar System and its Origin». Macmillan Co., New-York. 1935.
[7] LYTTLETON, R. A. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **96**, 559, 1936.
[8] SPITZER, L. *Astrophys. J.*, **90**, 675, 1939.
[9] ALFVÉN, H. «On the Origin of the Solar System». Clarendon Press, Oxford. 1954.
[10] WEIZSÄCKER, C. F. VON. *Z. Astrophys.*, **22**, 319, 1944.
[11] CHANDRASEKHAR, S. et TER HAAR, D. *Astrophys J.*, **111**, 187, 1950.
[12] KUIPER, G. P. *Proc. Nat. Acad. Sci., Wash.*, **37**, 1, 1951; «Astrophysics». J. A. Hynek (publié par). Ch. 8. McGraw-Hill, New-York. 1951.
[13] SCHMIDT, O. Y. *C. R. Acad. Sci. U.R.S.S.*, **45**, 229, 1944; **49**, 404, 1945; **52**, 577, 1946; **54**, 15, 1946; Природа, **35**, 6, 1946.

Comportement des parasites et lutte contre les insectes nuisibles

par GEORGE SALT

Les principales armes utilisées actuellement contre les insectes nuisibles sont les insecticides chimiques. Le contrôle biologique qui utilise leurs ennemis naturels, prédateurs ou parasites, présente aussi des avantages considérables en certaines circonstances. Il nécessite une profonde connaissance de la physiologie et du comportement de ces ennemis. Cet article expose les résultats d'études sur le comportement de quelques hyménoptères parasites.

L'utilisation du DDT et des insecticides analogues depuis 1945 a tellement attiré l'attention sur la lutte chimique contre les insectes nuisibles que les autres méthodes de lutte s'en sont trouvées gravement négligées. On a des raisons de penser que ceci ne durera pas. Le nombre d'insectes qui ont acquis une résistance aux insecticides va croissant et le prix des pulvérisations s'élève puisque l'on doit répandre des poisons plus concentrés. Certains insectes nuisibles, par exemple ceux qui sont largement répandus sur de grandes étendues de contrées sauvages ou ceux qui vivent à l'intérieur des tissus végétaux ne sont pas facilement accessibles au traitement chimique. C'est pourquoi il faut utiliser les autres moyens dont on dispose pour combattre les insectes nuisibles, parmi lesquels figurent les méthodes biologiques.

Le but de cet article est de considérer certains problèmes de comportement rencontrés dans l'utilisation de parasites comme les ichneumons ou des hyménoptères parasites voisins pour la lutte contre les insectes nuisibles.

Quand un ichneumon est prêt à pondre, il vole vers un habitat convenable et y cherche un hôte. Si nous observons la femelle d'un ichneumon typique, *Apanteles glomeratus*, en quête de larves d'un papillon du chou, *Pieris brassicae*, sur de jeunes plants de choux de Bruxelles dans notre jardin, nous verrons qu'elle vole de feuille en feuille et parcourt rapidement leur surface inférieure. Quand elle rencontre une jeune larve elle se livre à un examen soigneux et, si elle est satisfaite, plonge sa tarière à travers la peau de la chenille et dépose rapidement un certain nombre d'œufs dans la cavité du corps. Puis elle se retire et se prépare à attaquer un autre hôte. Si tout va bien les œufs se développent, détruisent la chenille et donnent une nouvelle génération de parasites pour continuer ce bon travail.

Bien que les nombreux détails de comportement nécessaires à la recherche et au choix d'un hôte soient le plus souvent correctement exécutés, *A. glomeratus* fait souvent des erreurs par action ou omission. Ce parasite semble chercher les larves de *Pieris brassicae* uniquement sur les choux, chou de Bruxelles ou autres choux cultivés; il ne les trouve pas si elles sont en train de se nourrir sur d'autres plantes comme les Capucines, *Tropaeolum*, ou les cakiliers marins, *Cakile maritima*. Presque toutes les chenilles des choux peuvent donc être détruites et l'insecte nuisible persister sans dommage sur ces autres plantes et réussir à donner une abondante population à la génération suivante [1]. Parfois aussi le parasite dépose certains de ses œufs, dont le nombre est limité, dans des larves qu'il vaudrait mieux négliger, telles que celles de *Pieris rapae* et de *Mamestra brassicae*, quand il parcourt les choux des jardins à la recherche de son propre hôte. Il y a déjà longtemps que N. F. Meyer [2] a montré que les œufs du parasite déposés par erreur dans *P. rapae* sont souvent détruits, car dans ces chenilles, pourtant si proches de leur hôte spécifique, la plupart des œufs du parasite sont incapables de se développer et beaucoup sont ainsi perdus.

On peut facilement observer au laboratoire le comportement d'un parasite dans le choix de son hôte sur *Trichogramma* (figure 1), Chalcidide ubiquiste qui joue un rôle d'une grande utilité en détruisant une grande quantité d'insectes nuisibles quand ils sont encore à l'état d'œuf. On utilise *Trichogramma* dans le monde entier contre de nombreux insectes nuisibles: la chenille mineuse de la canne à sucre aux Antilles, le ver de la graine du coton en Rhodésie, le ver oriental du fruit au Canada et d'autres. Il y a peu d'endroits dans le monde où il n'est pas en action. Pendant plusieurs années j'ai récolté quelques pontes de *Mamestra*

brassicae, la noctuelle du chou, sur les plants de mon jardin. Au bout de quelques jours certains éclosent, mais pas tous. Chaque année de beaucoup de ces œufs et même parfois de plus de la moitié sortent les minuscules adultes de *Trichogramma*. Ceux-ci courent dans les flacons bouchés et si on leur procure une ponte fraîche de *Mamestra* ou d'autres papillons analogues ils se mettent aussitôt à déposer leurs œufs dans ces nouveaux hôtes. Le comportement de ce petit animal suivi en détail a montré qu'il présentait certains aspects diminuant sa valeur dans la lutte contre les insectes nuisibles et d'autres qui le rendent plus efficace qu'on ne pouvait l'espérer.

D'une part, les trichogrammes font dans le choix des hôtes où ils déposent leurs œufs des fautes qui nous semblent absurdes [3]. La femelle perce ainsi de sa tarière les coquilles d'œufs vides dont la larve est déjà éclose. Elle examine et s'efforce de percer de petits objets variés de la même taille que ses hôtes habituels tels des graines, des perles de verre et même des grains de sable collés sur un carton et disposés comme des œufs de papillon sur des feuilles. Une expérience très amusante à observer est destinée à découvrir les dimensions limites des objets que les trichogrammes peuvent accepter comme hôte. On place une goutte de mercure, plus petite qu'un œuf d'un hôte habituel, dans une boîte de Petri avec une femelle; celle-ci n'y porte aucune attention. On incorpore alors de minuscules gouttelettes de mercure à la goutte jusqu'à ce qu'elle atteigne une taille acceptée par le parasite. La femelle grimpe dessus, l'examine, l'accepte, et tente d'y faire pénétrer sa tarière. La tension superficielle du mercure est trop forte et le petit parasite peut rester perché, quelquefois pendant des heures, en se balançant doucement de haut en bas pour essayer de pénétrer dans cet hôte étrange (figure 2). Pendant cette opération on peut ajouter d'autres gouttelettes de mercure à la goutte qui atteint parfois une taille telle que le parasite ne la reconnaît plus comme hôte et la quitte. T. E. Holloway [4] et P. Marchal [5] ont observé les trichogrammes en train de déposer leurs œufs dans de petites gouttes d'une substance gommeuse exsudée par les feuilles d'*Hibiscus*. Ce comportement fautif doit retirer de la valeur au parasite en tant qu'agent de lutte, en gaspillant une partie de sa courte vie adulte et certains de ses œufs dont le nombre est limité.

D'un autre côté, le comportement des trichogrammes montre une efficacité inattendue. Considérons le problème de l'interaction des populations du parasite et de son hôte, type de problème qui est toujours envisagé dans les projets de lutte biologique. Supposons qu'il y ait 100 individus d'une espèce nuisible par unité d'espace et que les parasites qui les attaquent aient 100 œufs à distribuer dans cet espace. Combien d'hôtes seront-ils détruits?

Si les parasites distribuent leurs œufs un par un au hasard nous pouvons calculer qu'en moyenne environ 37 hôtes recevront un œuf; 18,5, deux œufs; 6, trois et 1,5, quatre. Cette distribution inefficace des œufs signifie que 37 hôtes ne seront pas parasités. Au contraire, si les parasites distribuaient leurs œufs avec une efficacité complète, tous les hôtes pourraient être détruits. Pour obtenir cette seconde situation il faudrait que ces parasites soient capables de distinguer les hôtes déjà parasités et d'éviter d'y pondre, en conservant ainsi leurs œufs pour des hôtes non parasités. Que savons nous sur le comportement des trichogrammes à ce point de vue?

On a obtenu le premier résultat expérimental [6] en utilisant une disposition simple des hôtes. On garnit l'intérieur du couvercle d'une boîte de Petri avec un rond de papier quadrillé en carreaux de 2,5 mm de côté. On colle alors 25 œufs de papillon non parasités dans un carré de 12,5 mm de côté, un par carreau, en numérotant pour faciliter la désignation de chaque œuf les cinq rangées et colonnes (figure 3). Les œufs utilisés étaient ceux d'une mite des grains, *Sitotroga*, choisis parce qu'ils sont d'une taille juste suffisante pour le développement d'un parasite. On met une femelle de trichogramme dans la boîte de Petri inversée et on note chaque contact entre le parasite et les œufs. Cette expérience montre qu'il existe une discrimination entre œuf parasité ou non. Quand la femelle touche un œuf non parasité, elle grimpe dessus, l'examine avec ses antennes environ pendant 30 secondes, perce la coque et, environ 3 minutes après le premier contact, se retire pour en chercher un autre. Mais quand elle touche un œuf déjà parasité, l'examen dure seulement 5 à 7 secondes et elle le quitte sans plus de cérémonie.

Dans chaque expérience, on poursuit l'observation jusqu'à ce que le parasite ait effectué 25 attaques. Dans la première partie d'une expérience le choix du parasite paraît être parfait. Vers la fin, quand la plupart des œufs ont déjà été attaqués et que la femelle a couru pendant un long moment sans découvrir un des derniers non parasités, sa hâte de pondre l'emporte et elle accepte occasionnellement un œuf déjà parasité et le perfore. Pourtant, même dans ce cas, elle retire fréquemment son ovipositeur, aussitôt percée la

FIGURE 1 – *Le parasite des œufs* Trichogramma. (× *environ* 40)

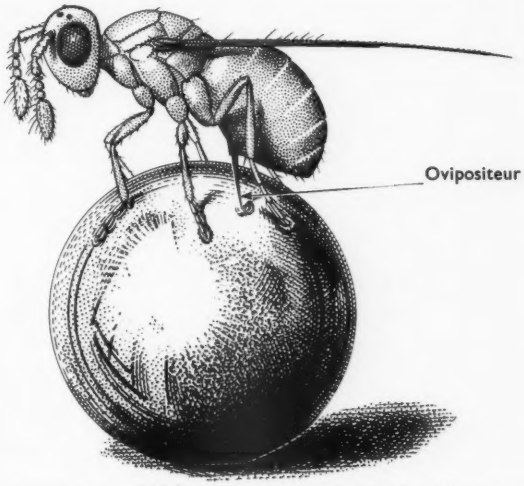


FIGURE 2 – *Trichogramme essayant de faire pénétrer sa tarière dans une gouttelette de mercure.* (× *environ* 64)

coque de l'œuf, et s'en va sans déposer un second œuf. On peut démontrer ce fait par un examen postérieur de l'œuf de l'hôte. Dans cinq expériences de ce type, où l'observation du parasite est poursuivie jusqu'à ce qu'il ait distribué 25 œufs dans 25 hôtes on a noté une moyenne de trois fautes, la plupart étant commises après la ponte des vingt premiers œufs. Il est clair que le parasite est capable de distinguer entre les hôtes parasités ou non et de se retenir de pondre dans le premier cas. Néanmoins, quand la plupart des œufs sont parasités cet empêchement peut cesser et la femelle peut attaquer occasionnellement des hôtes déjà parasités.

On se demande immédiatement comment le parasite est capable de distinguer entre les hôtes parasités ou non. Le fait que les hôtes déjà parasités soient rejetés après un rapide examen de quelques secondes seulement montre qu'il existe quelque indication externe. En vue de découvrir sa nature, on a collé douze œufs de *Sitotroga* dans un sur deux des carrés d'un papier quadrillé comme le montre la figure 4*a*. On permet alors à une femelle de trichogramme d'examiner chacun de ces hôtes de la manière qui précède normalement l'oviposition, mais juste au moment où elle darde son ovipositeur on l'écarte avec un petit pinceau. On dispose donc ainsi de douze œufs examinés mais non parasités. Nous les désignerons sous le nom d'hôtes «souillés». On retire alors le parasite et on colle 13 hôtes propres et non parasités dans les carrés intermédiaires du papier quadrillé de manière à former un groupe de 25 hôtes comme dans l'expérience précédente (figure 4*b*).

Enfin, on place un second parasite dans la boîte et on l'observe jusqu'à ce qu'il ait effectué 25 attaques. Dans un petit nombre de cas le parasite accepte un hôte «souillé», on le repousse alors au moment où il sort son ovipositeur, de manière à laisser l'hôte non parasité. Au contraire, s'il accepte un hôte propre, on lui permet de pondre dedans, mais, pendant qu'il perfore un deuxième œuf propre, on retire l'œuf préalablement parasité et on en met un propre à la place. Cette substitution est aisée car l'oviposition dure deux minutes et demie et les mouvements du pinceau pour placer le

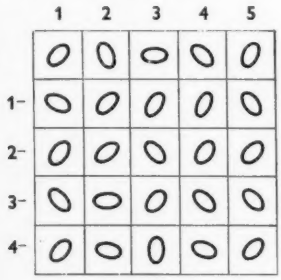


FIGURE 3 – *Disposition des hôtes sur un papier quadrillé (carreaux de 2,5 mm de côté) pour la première expérience.*

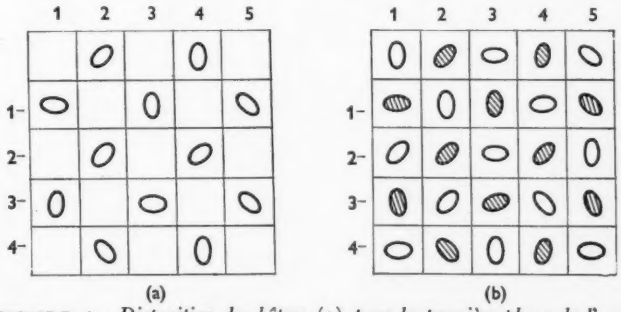


FIGURE 4 – *Disposition des hôtes:* (a) *pour la première phase de l'expérience,* (b) *dans la deuxième phase. Les hôtes «souillés» sont ombrés.*

nouvel hôte, même dans un carré adjacent, ne troublent pas le parasite une fois engagé dans son travail. On maintient ainsi la situation qu'après chaque attaque le parasite a toujours le choix entre 12 œufs «souillés» et 12 propres.

Le comportement des parasites utilisés dans 8 expériences de ce type fut très homogène. La femelle s'approche des hôtes «souillés» et les touche mais dans presque tous les cas s'en écarte immédiatement. Elle accepte par contre les hôtes propres. Il est donc clair que les trichogrammes sont capables de distinguer les hôtes sur lesquels un autre parasite a simplement marché et qu'il a négligé d'attaquer [7].

D'autres expériences concernent la nature de la trace perçue par le parasite. Quand on lave des hôtes «souillés» avec de l'eau placée sur un pinceau et qu'on les offre à un parasite, celui-ci les accepte aussi rapidement que des hôtes propres. La trace est donc soluble dans l'eau. D'autre part, si on laisse un grand nombre de parasites marcher dans un récipient et que l'on lave le verre sur lequel ils ont marché avec une goutte d'eau, la solution ainsi obtenue peut servir à peindre des hôtes propres non parasités qui seront alors rejetés. Il ressort de tout ceci qu'au cours de sa marche sur l'hôte, avant l'attaque, la femelle de trichogramme laisse une trace chimique qu'un parasite venant plus tard perçoit.

Dans les conditions naturelles la pluie doit laver cette trace externe et provoquer des erreurs. Il est pourtant intéressant de constater que les trichogrammes possèdent un deuxième sens de discrimination. On permet à un parasite de pondre dans des œufs de *Sitotroga*; ces œufs sont ensuite lavés et offerts à un autre parasite. Celui-ci les examine et les accepte comme s'ils étaient sains. Mais, dès que l'ovipositeur a percé la coque de l'œuf, le parasite ordinairement le retire et s'en va sans déposer un second œuf. Des organes sensitifs placés sur l'ovipositeur paraissent avertir le parasite que tout ne va pas bien. En revenant à la première expérience, on peut supposer que c'est ce second sens qui inhibe le dépôt d'un autre œuf, quand les parasites font des erreurs et attaquent des hôtes déjà parasités.

Nous nous sommes bornés ici au cas des trichogrammes parce que l'analyse du comportement y a été poussé plus loin que chez les autres parasites, mais on connaît des aptitudes semblables au choix dans plusieurs autres formes. D. C. Lloyd [8] a montré que deux Ichneumonides, *Diadromus* et *Angitia* et un Braconide, *Apanteles plutellae*, s'abstiennent de pondre dans des hôtes déjà attaqués par des femelles de leur propre espèce ou d'une autre. F. J. Simmonds [9] a étudié un comportement analogue chez le Chalcidide, *Spalangia*. La dissection des insectes nuisibles récoltés dans la nature a montré que le nombre de cas de parasitisme multiple est incompatible avec l'hypothèse d'une distribution au hasard [6].

La répercussion pratique de ce comportement dans notre problème de l'interaction entre les populations du parasite et celles de l'insecte nuisible est importante. Si les parasites de notre exemple numérique peuvent reconnaître les hôtes parasités ou non, nous pouvons nous attendre à une répartition plus efficace que les 63% de parasitisme qui résulteraient d'une distribution au hasard. Mais, du fait que le choix du parasite peut éventuellement s'égarer, nous ne devons pas nous attendre à trouver 100% de parasitisme. La proportion d'insectes nuisibles détruits dépend particulièrement des détails du comportement des parasites dans la recherche et le choix de leur hôte.

Il est clair que le comportement des insectes parasites joue un grand rôle quand il s'agit de fixer leur valeur comme agents de lutte contre les insectes nuisibles et il s'ensuit que nous devons connaître leur comportement avant de pouvoir les utiliser efficacement. C'est là la difficulté, car les recherches font défaut. La proportion des publications se rapportant aux luttes chimique et biologique, dans les journaux d'entomologie appliquée, depuis la guerre, suggère que les essais délibérés pour utiliser les parasites et les prédateurs sont presque complètement passés de mode. On demandera peut-être un jour aux biologistes de produire sur commande des parasites pour la destruction d'une pullulation donnée, comme les chimistes fabriquent leurs molécules synthétiques; mais il faudra d'abord effectuer un grand nombre de recherches, principalement sur le comportement des parasites.

BIBLIOGRAPHIE

[1] FAURE, J. C. «Contributions à l'étude d'un complexe biologique: la Piéride du chou (*Pieris brassicae* L.) et ses parasites hyménoptères». Thèse, Université de Lyon. 1926.

[2] MEYER, N. F. *Z. angew. Ent.*, **12**, 376, 1926.

[3] SALT, G. *Proc. roy. Soc. B.*, **117**, 413, 1935.

[4] HOLLOWAY, T. E. *Ent. News*, **23**, 329, 1912.

[5] MARCHAL, P. *Ann. Epiphyt.*, **2**, 447, 1936.

[6] SALT, G. *Proc. roy. Soc. B.*, **114**, 455, 1934.

[7] *Idem. Ibid.*, **122**, 57, 1937.

[8] LLOYD, D. C. *Ibid.*, **128**, 451, 1940.

[9] SIMMONDS, F. J. *Bull. ent. Res.* **47**, 361, 1956.

Les échanges ioniques dans les argiles

par C. B. AMPHLETT

Aujourd'hui, quand on parle d'échangeurs d'ions, on pense surtout aux échangeurs organiques. L'étude des phénomènes d'échange a pourtant débuté il y a plus d'un siècle, à propos des sols, avant même la théorie des ions. Le comportement des argiles reprend de l'intérêt à cause de son influence sur l'élimination des déchets radioactifs. On a obtenu des résultats fondamentaux, qui seront exposés ici, avec les méthodes utilisées.

Les échangeurs d'ions sont des produits insolubles dans l'eau mais capables d'échanger les cations ou anions présents dans leur structure contre les cations ou anions du liquide environnant. L'ion de charge opposé, non échangé, a peu d'importance. Il y a deux catégories principales d'échangeurs, les échangeurs organiques, et les échangeurs minéraux, et quelques autres, de natures diverses. Les échangeurs organiques sont de grosses molécules insolubles, à groupements acides ou basiques, qui retiennent les ions échangeables par des forces électrostatiques. Dans les échangeurs minéraux cristallisés, il y a une structure cristalline bien définie, dont les ions peuvent s'échanger avec des ions de charge et de dimension convenable. Dans tous les cas, la partie essentielle de l'échangeur est extrêmement peu soluble, mais les ions échangeables sont mobiles, pourvu qu'il y ait toujours neutralisation des charges.

On s'occupe surtout, à l'heure actuelle, des échangeurs d'ions organiques. Ce sont, soit des résines synthétiques, soit des dérivés obtenus par traitement de produits naturels comme le bois, le charbon, la tourbe, etc. C'est l'objet d'une industrie florissante, et on décrit sans arrêt de nouvelles applications. Cependant, bien avant l'étude de ces produits, ou de leurs prédécesseurs, les zéolithes, on avait fait des recherches fondamentales sur les équilibres d'échange ionique, à propos de la rétention des bases dans les sols. Ce problème, lié aux questions de fertilité et de culture des plantes, n'a jamais cessé d'attirer l'attention [1], mais ce n'est que depuis quelques années qu'il suscite un intérêt accru.

On sait depuis longtemps que le sol a une action purificatrice sur les solutions de colorants qui le traversent, mais les premières études systématiques datent tout juste d'un siècle [2]. De 1845 à 1850, on a étudié l'absorption dans le sol de l'ammoniac libéré lors du passage de l'eau sur les tas de fumier, et on a établi les faits saillants que voici. L'absorption de l'ammoniac s'accompagne de la libération de la quantité équivalente de calcium; le potassium, le sodium et le magnésium sont absorbés de façon analogue, mais à des degrés différents, et souvent davantage à concentration plus élevée. Le pouvoir absorbant du sol est dû aux argiles qu'il contient. Un chauffage préliminaire le réduit. Ces propriétés d'«échange de base» nous sont très familières aujourd'hui, mais il est intéressant de remarquer qu'elles ont été décrites et interprétées correctement bien des années avant l'introduction du concept d'ions en solutions.

Avant d'entrer dans les détails, notons quelques conséquences des échanges ioniques dans les argiles et les sols:

1. Les cations fournis sous forme d'engrais résistent à l'enlèvement par l'eau du sol, et restent ainsi longtemps accessibles: ainsi, K^+ apporté par la kaïnite, $KCl.MgSO_4.3H_2O$, déplace le calcium du sol, et demeure au voisinage de la plante. Les aliments cationiques naturels, comme le potassium, libérés par l'usure des roches primaires (comme les feldspaths), sont retenus dans le sol par échange ionique sur les produits minéraux secondaires qui résultent aussi de l'usure.

2. Les propriétés physiques d'un sol dépendent largement des cations associés à son argile, et on peut les modifier par un traitement approprié. Ainsi, l'agriculture ne peut, en général, utiliser les sols riches en sodium, car ils retiennent beaucoup d'eau et les argiles gonflent excessivement en solution aqueuse. Les sols riches en calcium, par contre, sont plus friables et plus cultivables. On peut les fabriquer par un traitement massif à la chaux, au cours duquel Ca^{2+} déplace Na^+ dans les proportions voulues. Si l'imprégnation excessive des étendues cultivées par l'eau de mer est préjudiciable, c'est beaucoup dû au remplacement des ions Ca^{2+} par des ions Na^+, et on peut réaliser

la transformation inverse par traitement massif à la chaux, ou par un traitement au gypse, qui, moins soluble que la chaux, libère plus progressivement son calcium.

3. Les propriétés plastiques des argiles dépendent aussi de leurs cations, et les argiles au sodium sont en général plus plastiques que les argiles au calcium prépondérantes dans la nature. On peut d'habitude améliorer les qualités d'une argile pour la fabrication des briques en la mélangeant de carbonate de soude avant la cuisson. De même, les ingénieurs des travaux publics peuvent parfois améliorer leurs fondations en changeant la composition cationique du sol.

ÉCHANGES IONIQUES DANS LES ARGILES [3]

Les échanges ioniques dans les sols sont essentiellement dus aux argiles qui s'y trouvent, et il faut en comprendre au moins sommairement le mécanisme, puisque la capacité d'échange des argiles et des sols est très variable (tableau I). Les argiles sont un groupe de composés à structures très complexes, et souvent, le passage d'un type à l'autre se fait d'une façon continue, par de nombreux types intermédiaires. Pour simplifier, on ne mentionnera ici que trois types. D'une façon générale, les argiles sont constitués par un empilement de réseaux à deux dimensions, formant des couches perpendiculaires à l'axe *c* du cristal. La structure de ces couches, leur mode de superposition varient d'un type à l'autre.

TABLEAU I

Capacité d'échange de quelques argiles [3]

Produit	Capacité, milliéquivalents/100 g
Kaolinite	3–15
Illite	10–40
Montmorillonite ..	80–150
Vermiculite ..	100–150[1]

[1] La vermiculite commerciale a en général une capacité plus faible, par suite de la présence d'hydrobiotite, qui ne s'échange pas.

La figure 1 montre d'une façon très simplifiée comment la structure des trois types d'argiles s'édifie à partir d'unités composées de molécules $Si(OH)_4$ tétraédriques et $Al(OH)_6$ octaédriques. La kaolinite a pour formule approximative $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$. Il y a très peu de remplacements de Si ou Al par d'autres ions dans les couches, et par suite, dans cette structure, aucun

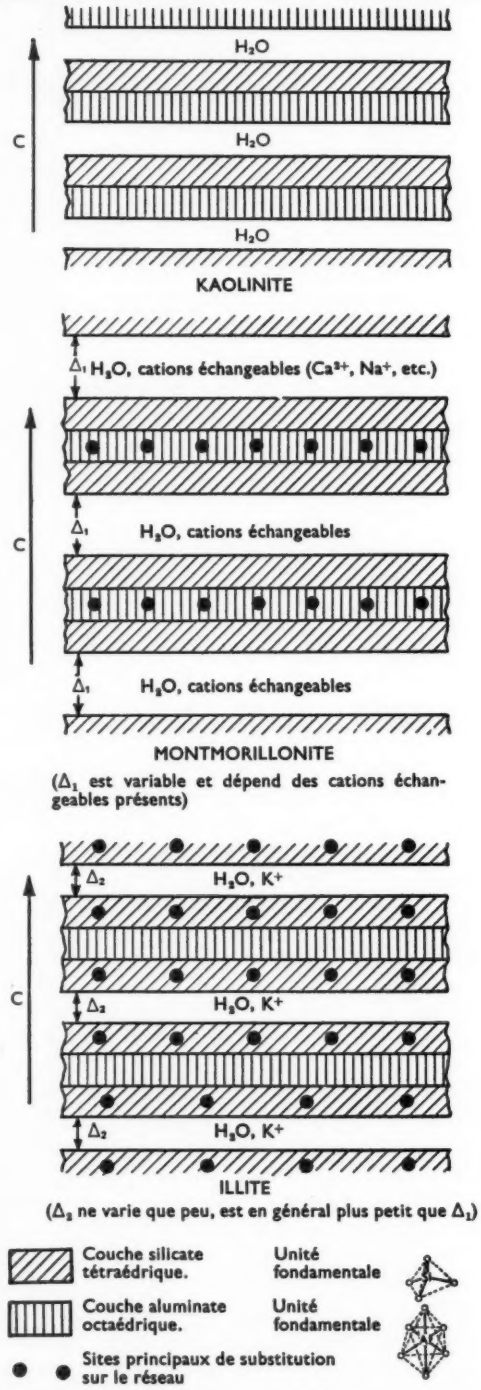


FIGURE 1 – *Représentation schématique de trois structures en couches caractéristiques de certaines argiles. La flèche indique l'axe* c.

ion supplémentaire n'est nécessaire pour équilibrer des variations de charge. La cohésion est faible entre les couches dans la direction de l'axe *c*, et la formule structurale est simple. Dans la montmorillonite, il y a des unités à trois couches; la couche aluminate est entre les deux couches silicate. La formule «idéale» serait $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4.nH_2O$. En fait on trouve toute une série de minéraux de ce type, où il y a substitution dans la couche octaédrique (Mg^{2+}, Fe^{2+}, etc., remplacent Al^{3+}), et à un degré bien moindre, dans la couche silicate (Al^{3+} remplace Si^{4+}). Ceci amène une augmentation de la somme des charges négatives, partiellement compensée par l'entrée de cations dans l'espace interstitiel, entre les couches, normalement à l'axe *c*. Il existe alors une certaine attraction électrostatique entre les unités, mais bien que la cohésion soit plus forte que dans la kaolinite, elle ne peut s'opposer à la pénétration d'eau entre les couches et au gonflement par immersion. La montmorillonite gonfle considérablement par immersion dans l'eau. La valeur de Δ_1 (figure 1) varie avec la teneur en eau, et le degré d'hydratation du cation. On peut se rendre compte de l'importance de la substitution en considérant la formule statique d'une montmorillonite di-octaédrique caractéristique ($Si_8(Al_{3,34}Mg_{0,66})O_{20}(OH)_4.nH_2O$ + cations échangeables); on reconnaîtra que la somme des nombres d'atomes d'aluminium et de magnésium est quatre.

Les argiles contenant du mica (illite, muscovite) ont la même structure fondamentale que les montmorillonites, sauf que la substitution a presque entièrement lieu dans la couche tétraédrique (Al^{3+} remplace Si^{4+}) et que le cation qui rétablit l'équilibre est surtout le potassium. Les attractions entre les couches sont bien plus grandes, parce que les distances sont plus faibles; le gonflement est limité, et l'échange plus difficile. La muscovite a pour formule $K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4$; elle est du même type que celle de la montmorillonite, mais le silicium y remplace une partie de l'aluminium dans la couche tétraédrique, et des ions potassium, en quantité équivalente neutralisent les charges négatives ainsi produites.

Deux modes d'échange cationique sont alors possibles:

1. *Echange «sur les bords»*. Sur les bords, il peut y avoir des liaisons brisées, ou des hydroxyles; les cations pourront se substituer en ces points; il y correspondra en général une capacité faible, mais commune à toutes les argiles. C'est parfois le seul mécanisme possible (kaolinite).

2. *Echange dans les couches*. Ceci entraîne un accroissement global de charge négative qui est équilibré par l'entrée de nouveaux cations dans l'espace qui sépare les couches; l'importance de ce phénomène dépend des dimensions du cation qui entre, et de la force de liaison entre les couches. Si celle-ci est grande, le remplacement des cations interstitiels est difficile, et il n'y aura guère d'échanges que sur les bords (cas de l'illite). Mais si la cohésion entre couches est plus faible, comme par exemple, dans la montmorillonite, la pénétration facile de l'eau lors de l'immersion facilite l'échange, et les ions se déplacent et s'échangent librement entre les couches. Ces argiles, à la différence des autres, gonflent notablement dans l'eau et les solutions aqueuses, et l'examen aux rayons X révèle une augmentation caractéristique de l'espacement entre les couches le long de l'axe *c*, particulièrement lorsqu'un gros ion très hydraté, comme l'ion sodium pénètre dans la structure. Dans les argiles de ce type, c'est là la cause essentielle des phénomènes d'échange.

Il n'y a pas que la capacité d'échange qui dépende du mécanisme, il y a aussi la vitesse et l'équilibre du phénomène. On observe en général les échanges les plus rapides avec les argiles comme la kaolinite, où n'interviennent que les couches superficielles, et les plus lents avec les échangeurs interstitiels non dilatables, où la pénétration dans les pores et les espaces interstitiels est nécessairement lente. De même, chez ceux-ci, l'ordre d'affinité est en relation plus étroite avec les dimensions de l'ion, et celles des pores de l'échangeur. Certains ions sont exclus pour des raisons stériques. Enfin, si la dimension des particules a peu d'influence sur la capacité de la montmorillonite, où l'échange superficiel a relativement peu d'importance, celle de la kaolinite est multipliée par cinq lorsqu'on réduit les dimensions des particules de 10–20 μ à 0,1–0,05 μ; les échangeurs à couches interstitielles non dilatables occupent naturellement une position intermédiaire.

Le phénomène d'échange ionique est en général réversible, mais il y a deux exceptions importantes: l'échange de l'hydrogène, et la fixation permanente de cations. On peut obtenir, par titrage des argiles avec des acides ou des bases, des courbes de *p*H caractéristiques, mais il est impossible de remplacer tous les cations échangeables par H^+ sans détruire partiellement la structure. Des ions Al^{3+} passent des couches dans l'espace interstitiel, où ils bloquent les positions d'échange, et provoquent une réduction de

capacité. L'échange de l'hydrogène n'est donc pas complètement réversible. Ce comportement se remarque surtout sur les échangeurs dilatables. En milieu très acide, l'argile se décompose complètement avec dissolution de l'alumine et précipitation de la silice. Une concentration trop élevée en Na^+ provoque un gonflement considérable, et parfois une destruction physique; il y a défloculation, et formation d'une suspension ou solution colloïdale. Les argiles au sodium sont en général difficiles à sécher, et souvent thixotropiques; on met à profit cette propriété en utilisant certaines argiles (comme par exemple, la bentonite du Wyoming, une montmorillonite sodée), comme lubrifiant dans les forages.

Certains cations, sur certaines argiles, se fixent par échange ionique d'une façon partiellement irréversible; la «fixation» du potassium en est un exemple notoire. On n'en saisit pas exactement la raison. Il semble probable que les dimensions de certains cations leur permettent de migrer de l'espace interstitiel dans le réseau proprement dit, où ils subissent des attractions bien plus fortes. Parmi les autres cas bien établis, il y a la fixation de K^+ sur l'illite, et de K^+, NH_4^+ et Cs^+ sur la vermiculite [4].

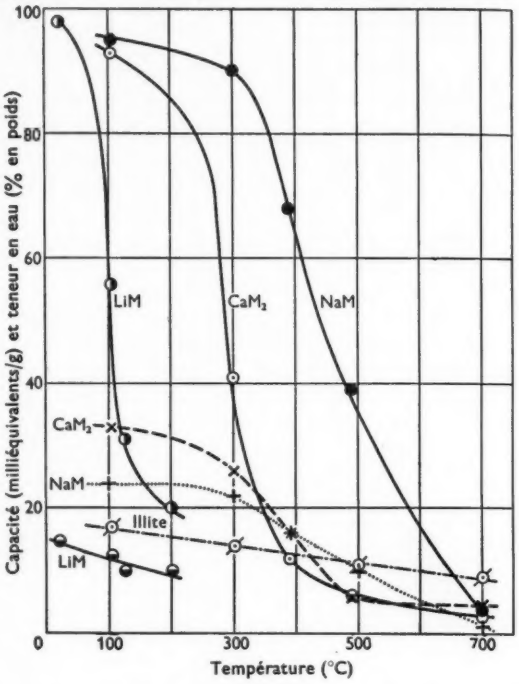


FIGURE 2 – *Perte d'eau et diminution de capacité au chauffage,* ◑, ○, ●, ⊘, *Capacité;* ◒, ×, +, *Teneur en eau* (M ≡ *montmorillonite*).

EFFET DU CHAUFFAGE SUR LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE

L'eau joue un rôle important dans les phénomènes d'échange dans les échangeurs à couches interstitielles dilatables. On doit donc s'attendre à des variations marquées au chauffage. Par chauffage à température élevée, il y a élimination d'eau à partir des hydroxyles présents dans la structure; l'espacement des couches et la capacité d'échange diminuent simultanément. Si le chauffage est suffisant, les cations migrent dans le réseau même, où ils sont énergiquement retenus. La structure est du type mullite, elle ne gonfle plus et ne laisse plus rentrer les cations échangeables. Ces transformations se produisent à une température qui dépend des cations présents initialement (figure 2). Il y a une corrélation étroite entre la perte d'eau et la baisse de capacité. Les petits cations peuvent pénétrer dans le réseau à plus basse température que les gros cations, et par suite Li^+ est fixé à une température plus basse que Na^+; l'illite, qui ne gonfle pas, varie bien moins avec la température.

ÉCHANGE D'ANIONS DANS LES ARGILES

Il est en général moins important, et peut avoir deux causes différentes. Les hydroxyles superficiels peuvent être remplacés par d'autres anions; ou bien les couches peuvent se développer par incorporation d'anions ayant des dimensions convenables. C'est ainsi que, sur les bords des couches tétraédriques de silicate, il peut y avoir addition d'ions phosphate, arséniate et borate, tous tétraédriques, alors que les ions nitrate, chlorure et sulfate ne sont pas échangeables. L'échange d'anions est donc essentiellement une réaction des bords; par suite, les capacités d'échange pour anions et cations sont comparables dans la kaolinite, tandis que dans la montmorillonite, la capacité d'échange est beaucoup plus grande pour les cations. Dans le cas de l'ion phosphate peuvent intervenir d'autres mécanismes distincts de l'échange ionique, qui accroissent encore la quantité fixée de cet important aliment végétal. Ainsi dans les sols neutres et faiblement acides, il est précipité par les oxydes trivalents (Fe_2O_3, Al_2O_3), toujours présents dans les argiles, tandis que dans les sols alcalins, il est précipité à l'état de phosphate basique par les cations alcalino-terreux (par exemple Ca^{2+} dans les sols calcaires).

THERMODYNAMIQUE DES ÉCHANGES IONIQUES DANS LES ARGILES [5]

Au point de vue quantitatif, l'équilibre entre deux ions et une argile est déterminé par une loi d'action de masse normale, par exemple, dans le cas de l'échange entre les ions sodium et césium sur la montmorillonite (représentée par M):

$$CsM + Na^+ \rightleftharpoons Cs^+ + NaM$$

la constante d'équilibre thermodynamique K est donnée par

$$\frac{[\overline{Na^+}][Cs^+]}{[Na^+][\overline{Cs^+}]}$$

où $[X^+]$ représente l'activité de l'ion X^+ en solution et $[\overline{X^+}]$ son activité dans la phase solide. En solution diluée, on peut remplacer les activités par les concentrations moléculaires dans le cas des échanges entre ions univalents, et on sait faire les corrections dans les autres cas, mais il est difficile de donner les coefficients d'activité dans la phase solide, et d'obtenir des données thermodynamiques exactes. Jusqu'à une date récente, on n'a pu obtenir des résultats reproductibles sur l'échange dans les argiles, mais à partir d'argiles standardisées de composition connue (fournies par l'American Petroleum Institute), H. C. Thomas a mis au point une méthode d'étude sérieuse et cohérente. On a examiné plusieurs systèmes sur la montmorillonite et l'attapulgite, et on verra sur le tableau II une interprétation quantitative de la série d'affinité des métaux alcalins sur attapulgite. Des recherches à Harwell indiquent que l'on peut étendre cette méthode d'étude aux mélanges d'argiles que l'on trouve dans les sols [7]; on verra sur la figure 3 un exemple des isothermes obtenus dans ce travail.

APPLICATIONS RÉCENTES

Pour savoir comment on traite et élimine les résidus radioactifs de l'industrie atomique, il faudra mieux connaître l'absorption et la fixation des cations dans les argiles et les sols. Leur étude a ranimé à son tour l'intérêt porté aux mouvements des ions dans les sols, et on en est revenu aux premiers problèmes déjà vieux de plus de cent ans.

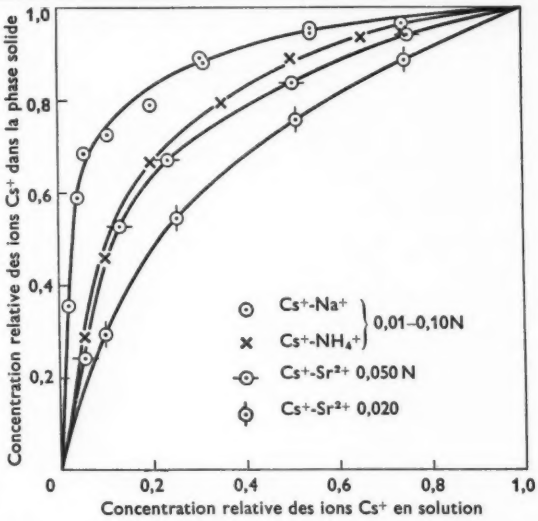


FIGURE 3 – *Isothermes d'échange caractéristiques d'un sol de «Lower Greensand».*

L'entrée dans le sol de produits radioactifs est parfois prévue (élimination de déchets, retombées atomiques), parfois accidentelle (fuites de solutions actives, accident d'un réacteur). L'activité peut se trouver partiellement ou totalement sous une forme ionique soluble selon son origine et les propriétés du sol. Les échanges d'ions dans le sol peuvent s'opposer efficacement à la dispersion de l'activité en solution, et ainsi à l'extension de l'étendue contaminée. Mais alors, l'activité demeure sous une forme concentrée, dans un espace restreint, elle peut passer dans les plantes, puis dans les animaux et l'homme, si l'on n'y prend pas garde.

Certaines usines atomiques américaines, situées dans des régions relativement peu peuplées, où les conditions géologiques et climatiques sont également favorables mettent à profit cette propriété du sol pour se débarrasser des déchets radioactifs en solution («élimination dans le sol», «stockage dans le

TABLEAU II

Equilibre d'échange des ions alcalins sur l'attapulgite [6]

Equilibre (A ≡ attapulgite)	Constante d'équilibre thermodynamique K		Variation d'énergie libre $\Delta G = -RT \ln K$	Chaleur d'échange ΔH (30–75°)
	30°	75°		
$Li^+ + CsA \rightleftharpoons LiA + Cs^+$	0,029	0,068	2,14 kcal	4,1 kcal
$Na^+ + CsA \rightleftharpoons NaA + Cs^+$	0,041	0,090	1,93 (30°)	3,8
$K^+ + CsA \rightleftharpoons KA + Cs^+$	0,131	0,243	1,22	2,9

sol») [8]. Même en tenant compte des immenses étendues du continent américain, on ne peut faire cela au petit bonheur, et il faut déterminer avec précision l'activité totale qu'on déposera dans le sol après des recherches préliminaires prolongées au laboratoire et sur le terrain; le critère définitif est fixé en fonction du niveau maximum acceptable dans les eaux d'alimentation. Les expériences de laboratoire montrent que les cations progressent bien moins vite que l'eau dont le déplacement est mesuré par celui des anions (figure 4); si le retard est suffisant, l'activité des cations pourra avoir diminué jusqu'à une valeur acceptable. La situation est bien plus complexe dans le cas de mélanges de cations; le mouvement de chacun dépend de sa concentration, de la concentration ionique totale, et de l'affinité relative des centres d'échange pour les divers cations. Les résultats sont alors imprévisibles, et il faut tâcher de tirer le maximum de renseignements des essais au laboratoire et sur le terrain, avec les eaux résiduaires en question.

La série d'affinité pour les cations sur l'argile et dans les sols est à peu près celle de Hofmeister: l'affinité d'un cation hydraté augmente avec sa charge et diminue avec son rayon, mais il y a de nombreuses exceptions. En introduisant dans le sol des eaux résiduaires contenant un mélange, on trouve que la vitesse de progression suit l'ordre:

$$Pu^{4+} < La^{3+}, Ce^{3+}, \text{etc.}, < Sr^{2+} < Cs^{+}$$

Le strontium et le césium se déplacent plus vite; ils ont une période plus grande, ^{90}Sr est très toxique. Pour toutes ces raisons, il faut contrôler soigneusement la quantité de ces nuclides contenus dans les eaux résiduaires et éventuellement opérer un pré-traitement chimique. En ce qui concerne les autres constituants habituels des eaux résiduaires, disons que les ions nitrate sont très en avant des cations, et que le ruthénium occupe une place intermédiaire. En effet, bien que Ru^{3+} se comporte comme les autres ions trivalents, il se trouve principalement sous une forme complexe non chargée, ou anionique, qui progresse bien plus vite que les cations. Ces cations servent à déceler l'étendue de la contamination; dès que l'on a révélé leur présence dans certains puits de détection convenablement placés, on arrête l'évacuation des déchets, et l'on sait que le front principal d'activité mettra jusqu'à deux années pour arriver en ces points. Cette incapacité des sols à retenir l'ion nitrate peut avoir de graves conséquences, car il est toxique à forte concentration. C'est l'origine de plusieurs accidents dans la population des tourterelles à Oak Ridge.

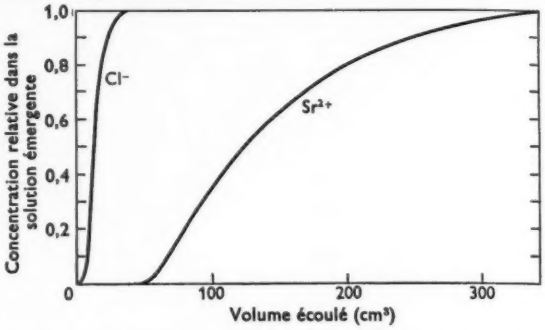


FIGURE 4 – *Elution de Sr^{2+} et Cl^{-} traversant des colonnes de sol* [9].

Si l'on change la composition des eaux évacuées en un point, on peut accélérer le mouvement d'ions déjà échangés, tout particulièrement en acidifiant. Il peut aussi y avoir variation des vitesses relatives des cations, car certains sont déplacés plus facilement que d'autres par les ions hydrogène (figure 5); le strontium y est particulièrement sensible, point important vu sa toxicité. Des sels inactifs, en concentration élevée, réduisent aussi l'absorption, en accaparant les sites

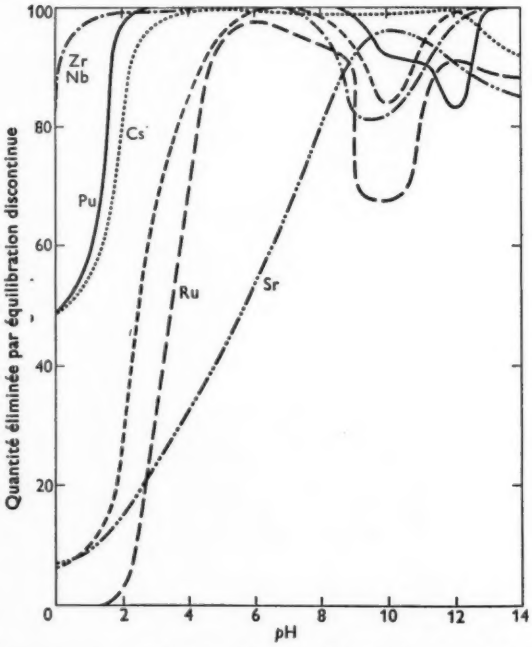


FIGURE 5 – *Effet de l'acidité sur l'absorption de certains cations par le sol de Hanford, Washington* [8].

TABLEAU III

Elimination de l'activité par agitation avec de l'argile [10][1]

Activité	Forme ionique	*p*H	% éliminé			
			1 000 p.p.m. d'argile	2 000	3 000	4 000
^{90}Sr–^{90}Y	Cationique	7,7	83,4	89,1	92,9	95,0
^{140}Ba–^{140}La	Cationique	7,8	88,8	92,0	94,3	97,1
^{141}, ^{144}Ce–^{144}Pr	Cationique	8,0	99,7	99,8	99,9	99,9
^{95}Zr–^{95}Nb	Cationique colloïdal	7,5	98,0	99,1	99,4	99,6
^{106}Ru–^{106}Rh	Mixte	5,2	50,5	59,3	61,5	—
Produits de fission mûris	Mixte	8,8	82,0	82,9	86,3	90,3
^{131}I	Anionique	7,5	4,9	5,0	3,4	3,4

[1] Schiste local de Oak Ridge; capacité 29 méq./100 g.

d'échange. Tout ceci souligne le caractère dynamique de cette méthode d'évacuation des déchets, et la nécessité des études préliminaires.

On a proposé l'emploi d'échangeurs naturels dans la phase terminale du traitement des eaux à basse activité, pour éliminer des ions comme Cs^+, indifférents aux précipitations et floculations traditionnelles. On ne manque pas de sols de capacité suffisante, mais on ne peut en faire de grands lits avec les vitesses d'écoulement nécessaires. La vermiculite possède à la fois une porosité excellente, on peut en faire des colonnes très satisfaisantes, et sa capacité est utilisable (tableau I); les essais de laboratoire ont montré que la décontamination était bonne, et on procède en ce moment à des essais à plus grande échelle à Harwell.

On a proposé l'absorption discontinue par agitation avec de l'argile pour décontaminer sur le terrain les arrivées [10] d'eau. On ne peut traiter ainsi régulièrement des eaux radioactives, car cela nécessiterait trop d'argile, et il faudrait ensuite déshydrater et stocker de grands volumes de boues radioactives. Le tableau III indique le résultat d'une opération. En cas de nécessité, on pourrait réduire suffisamment l'activité par percolation à travers une colonne de sol.

On a proposé aussi l'argile pour se débarrasser de solutions extrêmement actives [11]; on absorbe les ions et on les fixe définitivement en portant à des températures voisines de 1 000°. On peut aisément contrôler à distance les opérations d'échange d'ions, ce qui est essentiel pour tout traitement de produits très actifs. Les résidus liquides sont transformés en solides, ce qui semble avantageux, car il faudra stocker pendant des siècles pour que l'activité de ^{137}Cs et ^{90}Sr devienne négligeable. Les essais-pilotes de ce procédé, à Harwell et Brookhaven ont été couronnés de succès, mais il semble douteux qu'on l'adopte à grande échelle, sinon peut-être pour traiter des produits actifs relativement purs.

Concluons en disant que tous les résultats accumulés à propos de l'élimination des déchets, et les études théoriques qui doivent leur donner un fondement sérieux, intéresseront tous ceux dont le travail s'approche de ce domaine.

BIBLIOGRAPHIE

[1] KELLY, W. P. «Ion Exchange in Soils». Reinhold Publishing Corporation, New-York. 1948.

[2] THOMPSON, H. S. *J.R. agric. Soc.*, **11**, 68, 1850. WAY, J. F. *Ibid.*, **13**, 313, 1852.

[3] GRIM, R. E. «Clay Mineralogy». McGraw-Hill, New-York. 1953.

[4] BARSHAD, I. *Amer. Min.*, **33**, 655, 1948; **34**, 675, 1949.

[5] THOMAS, H. C. *et al. J. chem. Phys.*, **20**, 157, 1952; **21**, 714, 1953; **22**, 258, 1954; **23**, 2322, 1955.

[6] MERRIAM, C. N. et THOMAS, H. C. *Ibid.*, **24**, 993, 1956.

[7] AMPHLETT, C. B. et MCDONALD, L. A. *J. inorg. nuclear Chem.*, **2**, 403, 1956; **6**, 145, 1958.

[8] BROWN, R. E., PARKER, H. M. et SMITH, J. M. United Nations Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, **9**, 669, 1955.

[9] KAUFMAN, W. J. *et al. Tech. Inf. Div. Rep.* Oak Ridge, 7517, 207, 1956.

[10] LACY, W. J. *Industr. Engng Chem.*, **46**, 1061, 1954.

[11] HATCH, L. P. *Amer. Scient.*, **41**, 410, 1953.
GINELL, W. S., MARTIN, J. J. et HATCH, L. P. *Nucleonics*, **12**, (12), **14**, 1954.
GROVER, J. R. *J. Brit. Nuclear Energy Conf.*, **3**, (1), 80, 1958.

Structure et rôle des chloroplastides

par J. B. THOMAS

La réussite, même partielle, de la transformation et de l'emmagasinage chimique de l'énergie solaire par l'homme, serait d'une importance primordiale. L'étude du mécanisme de la photosynthèse qui résoud ce problème dans la nature devrait donner des éclaircissements susceptibles de contribuer à réussir cette chaîne d'opérations. La combinaison de la microscopie électronique avec d'autres méthodes physiques et chimiques a permis de faire de grands progrès dans l'étude du repérage des centres de la photosynthèse dans la cellule végétale. Cet article passe en revue les méthodes employées et les résultats enregistrés.

Les essais d'utilisation de l'énergie solaire avec une certaine efficacité en la transformant et la conservant sous forme chimique sont en butte aux difficultés que pose une perte assez rapide de l'énergie excitatrice. C'est pourquoi, le point crucial se rapporte plus à la conservation qu'à la conversion de la dite énergie. E. I. Rabinowitch [1] a signalé que le transfert d'un électron d'une molécule excitée par l'absorption d'énergie lumineuse vers le noyau atomique d'une autre molécule offre les meilleures chances pour conserver l'énergie, à condition que l'affinité électronique du «récepteur» soit bien inférieure à celle du «donneur». De cette manière, il y a un temps suffisant pour que se produise la stabilisation enzymatique ou la séparation spatiale des premiers corps.

Evidemment, la nature a très bien su résoudre les problèmes en question. L'énergie solaire, à l'aide des pigments photosynthétiques, est convertie en énergie chimique par réduction du bioxyde de carbone en hydrates de carbone. C'est pourquoi une étude du fonctionnement de la photosynthèse dans la nature pourrait donner quelques éclaircissements sur la raison pour laquelle le processus en question, ou plutôt la chaîne de réactions, se fait avec une certaine efficacité dans la cellule vivante.

Le spectre d'activité de la photosynthèse présente des maxima et des minima correspondant à ceux du spectre d'absorption de la chlorophylle. Il est donc évident que ce pigment absorbe par photosynthèse la lumière active. De plus, la présence de maxima supplémentaires dans le spectre d'activité prouve que la lumière absorbée par les caroténoïdes et, dans les algues rouges et bleu-vertes, par les phycobilines aussi, est utilisée de même dans la photosynthèse. Un examen détaillé des pigments dépasse le cadre de la présente étude mais il s'en trouve un, accompagné de renseignements plus détaillés sur la photosynthèse, dans l'excellent ouvrage de Rabinowitch [2]. Il nous suffit de rappeler que, dans les plantes supérieures, l'on trouve deux chlorophylles, la chlorophylle *a* et la chlorophylle *b*, et que le rapport *a*/*b* est d'environ 3. Les bactéries photosynthétiques renferment des corps de la même famille: la bactériochlorophylle (bactéries pourpres) et la bactérioviridine (bactéries soufre vertes).

Les molécules de chlorophylle stimulées par la lumière libèrent leur énergie excitatrice de trois manières: chaleur, fluorescence et énergie chimique. Puisque les conversions sont des processus dus au hasard, la fluorescence peut être utilisée comme indicateur quantitatif de l'énergie stimulatrice, et beaucoup d'auteurs l'ont fait. L'étude quantitative la plus détaillée sur ce sujet a été faite par L. N. M. Duysens [3]. Si des plantes vertes sont irradiées, seule s'observe la fluorescence de la chlorophylle *a*. Le calcul révéla que l'énergie excitatrice de la lumière absorbée principalement par les caroténoïdes est transférée à la chlorophylle *a*. Toutefois, le rendement de ce transfert est relativement faible, de l'ordre de 20 à 40%. Antérieurement, d'une part, H. J. Dutton, W. M. Manning, et B. M. Duggar [4], d'autre part E. C. Wassink et J. A. H. Kersten [5], avaient trouvé que chez les diatomées, l'énergie lumineuse absorbée par la fucoxanthine de caroténoïde était aussi active dans la photosynthèse que la lumière absorbée par la chlorophylle. De plus, les expériences de fluorescence ont montré que l'énergie absorbée par la fucoxanthine entre par la chlorophylle dans la chaîne des réactions chimiques «sombres» de la photosynthèse. Aussi, dans ce cas, un transfert d'énergie excitatrice se produit avec un rendement voisin de 100%. D'autres auteurs ont constaté la même chose dans les transferts de phycobiline à chlorophylle ainsi que de chlorophylle *b* à chlorophylle *a*; ou, dans les bactéries pourpres, des bactériochlorophylles de types «B800» et «B850» au type «B890». Qu'il se produise des rendements aussi élevés laisse supposer que le mécanisme de

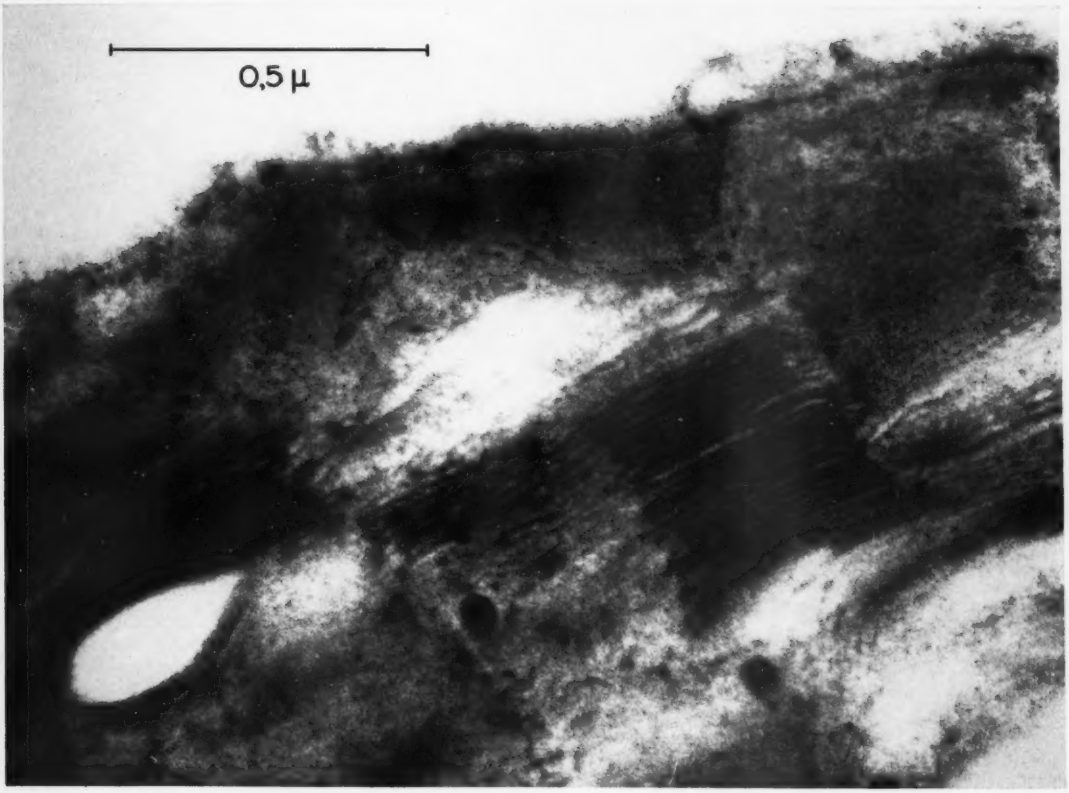


FIGURE 1 – *Particularités d'un chloroplastide de* Elodea densa. (*Micrographie électronique communiquée par P. F. Elbers.*)

transfert consiste en une résonance inductive [6].

Mis à part les nécessités du spectre, la concentration pigmentaire doit être suffisamment élevée s'il doit se produire un transfert efficient d'énergie, et le transfert sera facilité par l'orientation adéquate des molécules du pigment. De ce fait, l'aspect sous lequel se présentent les pigments dans la cellule vivante est de première importance pour leur fonctionnement. Les renseignements concernant cet état seront d'abord brièvement exposés.

Si les pigments sont extraits par broyage des cellules photosynthétiques dans l'eau, le spectre d'absorption de l'extrait colloïdal est le même que celui des cellules intactes. Toutefois, l'extraction par les solvants organiques (alcools, éther, acétone, etc.) donne une solution limpide et les maxima d'absorption sont déplacés par rapport à ceux du spectre *in vivo*. Ceci prouve que l'état de ces pigments dans la cellule vivante diffère de leur état en solution.

Cette différence d'état est aussi démontrée par le fait que la fluorescence de la chlorophylle est bien plus faible *in vivo* qu'en solution. Il est en vérité tout à fait curieux que la chlorophylle soit fluorescente à l'état naturel. Si l'on donne à une solution de ce pigment en solvant organique la concentration que possède le chloroplastide (environ 0,2M), l'abaissement de concentration annihilera toute fluorescence visible. Il a aussi été observé qu'une dispersion colloïdale de chlorophylle dans l'eau n'est pas fluorescente.

Pour diverses raisons, les pigments photosynthétiques à l'état naturel semblent être fixés aux protéines ou plutôt aux lipoprotéines. L'une des fonctions de ces complexes protéine-pigment consiste évidemment à établir les conditions nécessaires au fonctionnement des pigments, soit à établir une certaine disposition spatiale définie. En général, les complexes protéine-pigment sont incorporés dans des structures cellulaires distinctes, les chloroplastides. La structure de ces organelles sera étudiée en premier.

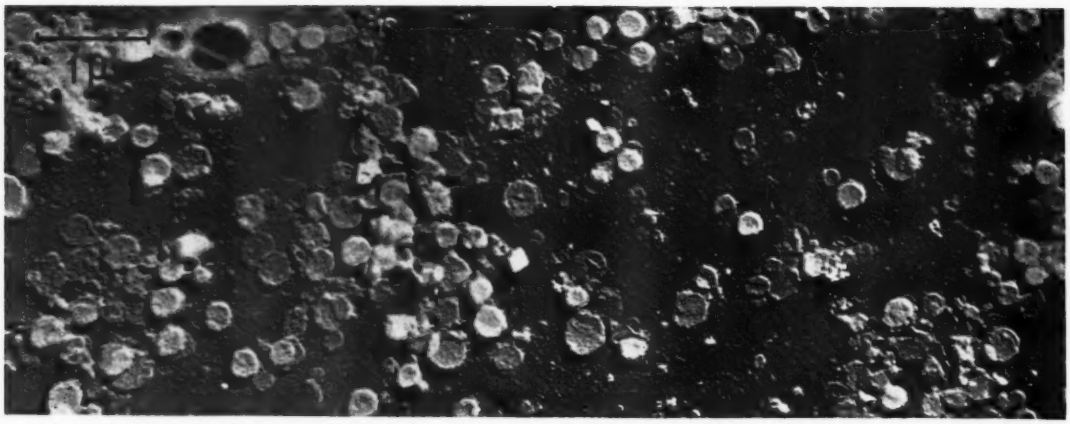


FIGURE 2 – *Micrographie électronique montrant des grana isolés entiers et fragmentés provenant de chloroplastides de* Spinacia oleracea.

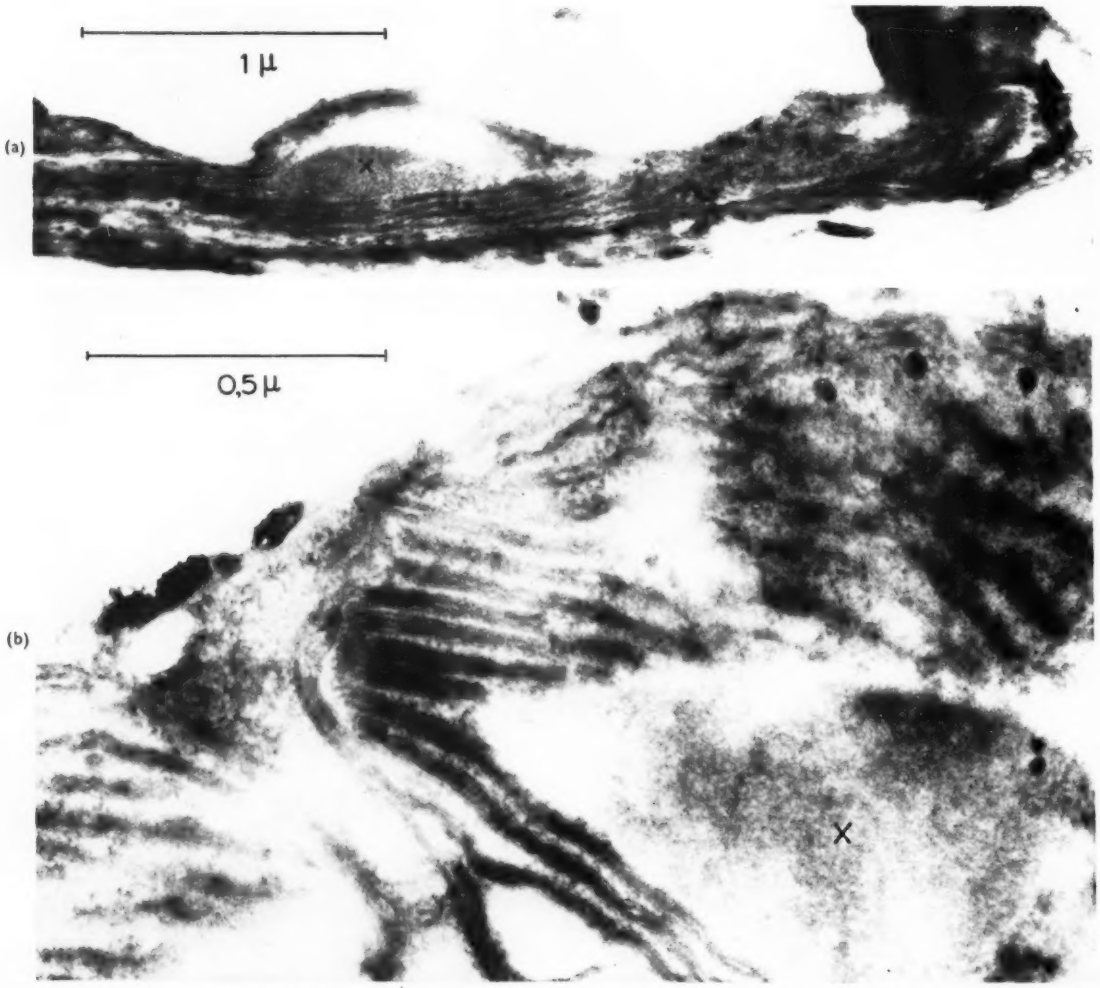


FIGURE 3 – *Chloroplastide de la diatomée* Nitzschia dissipata. (a) *Aspect général,* (b) *détail. En X sur les deux clichés, lieu de la photosynthèse. (Micrographie électronique communiquée par P. F. Elbers.)*

Les chloroplastides renferment des lamelles, d'une épaisseur d'environ 50 Å, incluses dans une substance globulaire, le stroma, et sont très probablement entourés d'une double membrane possédant des propriétés semi-perméables. On peut distinguer deux types principaux: les chloroplastides «granulaires» qui semblent caractéristiques des plantes supérieures, et les chloroplastides «lamellés». La figure 1 représente une microphotographie électronique de coupe de chloroplastide granulaire provenant de *Elodea densa* sur laquelle on peut voir les constituants mentionnés. Dans diverses régions, le contraste de même que la compacité des lamelles sont augmentés. Cet accroissement du contraste est dû au fait que ces régions, au cours de la préparation, sont plus fortement colorées que les autres parties des lamelles par le fort pouvoir de dispersion électronique de l'acide osmique. Cela indique que les régions sombres sont riches en lipides. Si de tels chloroplastides sont détériorés après isolement de la cellule, c'est-à-dire par des influences osmotiques, ils se désintègrent aisément sauf dans ces régions sombres. Celles-ci, libérées des chloroplastides, se présentent (figure 2) sous forme de disques. Chaque disque représente un tas de lamelles circulaires, mais on voit aussi des lamelles isolées provenant de tas dissociés. Les tas de lamelles qui, plus ou moins, représentent des unités structurelles s'appellent des «grana».

Dans le chloroplastide, les grana sont inclus dans la substance du «stroma» qui est une matière globulaire protéinacée dans laquelle s'allongent les lamelles reliant les grana. Ces lamelles, ou plutôt des portions de ces lamelles, sont appelées «lamelles du stroma» pour les identifier par rapport aux «lamelles des grana».

Ces chloroplastides lamellés ne renferment pas de grana. En général, ces lamelles se colorent uniformément à l'acide osmique dans tout le chloroplastide et on ne constate pas de régions renfermant des amas de lamelles relativement denses. Ces chloroplastides se voient souvent dans les algues. Sur la figure 3, on peut voir un tel chloroplastide provenant de la diatomée *Nitzschia dissipata*. Les lamelles, comme on l'a souvent constaté dans les chloroplastides lamellés, sont amassées en faisceaux de 4 à 8. Le stroma globulaire se trouve en couches relativement minces entre ces faisceaux. Il n'y a pas de lamelles du stroma.

Dans quelques cas, il a été possible d'observer des formes intermédiaires entre ces deux types de chloroplastides, notamment dans les *Spirogyra* [7] et chez quelques desmidiacées [8]. Pour l'ensemble des travaux consacrés aux chloroplastides, voir [9–11].

Chez les algues bleu-vert et chez les bactéries photosynthétiques, il n'y a pas de véritables chloroplastides. Dans les premiers, on a constaté [12] des lamelles situées dans le cytoplasme des cellules, mais pas de membrane de chloroplastide, ni de stroma particulier. Les auteurs ont dénommé une telle structure, de caractère probablement photosynthétique, «chromatoplasme». Dans les bactéries photosynthétiques, on constate la présence de grana libres. Les mêmes auteurs [13] furent les premiers à présenter une magnifique micrographie électronique d'organelles qui sont probablement des grana libres dans la bactérie pourpre *Rhodospirillum rubrum*. La structure lamellée est évidente, aucune membrane encerclante n'a été constatée.

Pour conclure, on peut dire que la structure de l'ensemble constitutif de la photosynthèse peut être différente dans différentes espèces mais que toutes les espèces ont des lamelles. Ce fait permet de penser avec certitude que la présence de lamelles est une condition indispensable pour que la photosynthèse ait lieu.

Le pouvoir séparateur de l'objectif d'un microscope ordinaire à lumière artificielle est tel que les grana ne sont décelables que si leur diamètre dépasse 0,3 μ. L'examen des chloroplastides renfermant des grana de cette dimension, ou de plus grande dimension, révèle qu'ils sont verts. Toutefois, le stroma qui les entoure est incolore. De plus, au microscope à fluorescence, les grana ont une fluorescence rouge tandis que le stroma reste sombre. Ces observations pourraient prouver que la présence de chlorophylle est limitée aux grana. Mais, puisque en extraits aqueux les caroténoïdes accompagnent toujours les complexes chlorophylle-protéine, il est tout à fait probable qu'il en soit de même pour ces pigments accessoires.

Un essai [14] de localiser avec plus de précision la chlorophylle fut effectué comme suit. La présence de chlorophylle peut être révélée par la réaction de Molisch dans laquelle le nitrate d'argent est réduit en argent métallique par la chlorophylle illuminée. Cette réaction offre une possibilité de localiser plus exactement la chlorophylle. Une suspension de grana est soumise à des vibrations sonores de 7 000 c/s jusqu'à ce que les grana se désintègrent en lamelles. On ajoute du nitrate d'argent à cette suspension et le mélange est illuminé. L'examen au microscope électronique révèle que des dépôts d'argent se sont formés sur la surface des lamelles. Il est donc possible de supposer que les lamelles jouent le rôle de support de

la chlorophylle et aussi probablement des pigments accessoires.

On arrive à la même conclusion de manière moins directe en partant du fait qu'une suspension de lamelles est capable de photolyser l'eau. Dès que les chloroplastides se sont fragmentés, ils perdent leur pouvoir de photosynthèse, mais, en présence d'un récepteur d'hydrogène approprié, ils sont capables de libération photochimique de l'oxygène de l'eau. Le spectre d'activité prouve que cette «réaction de Hill» est favorisée par la chlorophylle excitée.

Si une telle suspension est soumise à des vibrations prolongées, les lamelles se fragmentent. Même ces fragments donnent la réaction de Hill. Au cours de la désintégration, la vitesse de la réaction de Hill demeure assez constante au début mais ensuite diminue plutôt rapidement. Ce phénomène se produit avec un volume de particule de 10^6 Å^3 [15] et les calculs ont donné, en gros, 100 molécules de chlorophylle pour ces particules. A un volume de 2×10^5 Å^3, les particules n'ont plus la capacité de faire la réaction de Hill. Ceci signifie qu'à ces dimensions, toutes les molécules de chlorophylle sont déplacées des centres enzymatiques auxquels se forment les produits de la réaction de Hill avec l'aide de l'énergie excitatrice de la chlorophylle. Cela signifie aussi qu'avec un volume de 10^6 Å^3, les centres enzymatiques sont pourvus de leur nombre complet de molécules de pigment actif.

A. Frey-Wyssling et E. Steinmann [16] ont signalé le fait que sur de bonnes micrographies électroniques on peut constater que les lamelles sont formées de particules sphériques. Les auteurs supposent que ces particules sont des macromolécules de protéines. Il reste encore à élucider si l'aspect globulaire est naturel ou non. Au cours de la fixation des préparations pour l'examen au microscope électronique, les macromolécules en forme de spirale pourraient bien s'enrouler et prendre une forme sphérique. De toutes manières, il semble très probable que les lamelles sont constituées par les macromolécules. On a trouvé que les dimensions de ces macromolécules sont du même ordre de grandeur que celles des plus petites particules encore complètement actives dans la réaction de Hill.

Ces constatations dénotent une autre fonction des lamelles de grana: le support des centres enzymatiques. Toutefois, il y a des indices sérieux qu'une partie seulement des enzymes photosynthétiques est associée aux lamelles. Ceci découle du fait que des chloroplastides isolés d'épinard, détériorés par traitement à l'eau à un point tel que le pouvoir de fixation pour l'anhydride carbonique était aboli, ont pu récupérer leur activité photosynthétique par addition d'un extrait enzymatique provenant de chloroplastides intacts [17]. Si l'on compare les phénomènes d'induction de fluorescence dans les chloroplastides granulaires à ceux des chloroplastides lamellés [18], on trouve que les enzymes de photosynthèse sont en partie localisées dans le stroma.

Les estimations de la surface totale des lamelles de grana et de la teneur en chlorophylle des chloroplastides de diverses espèces de plantes montrèrent que, dans tous les cas, la zone lamellaire disponible par molécule de chlorophylle était à peu près la même, soit quelques centaines d'ångströms carrés. Puisque le transfert de l'énergie excitatrice avec une efficience de 96% entre chlorophylles *a* et *b*, ou entre les types de bactériochlorophylles déjà cités, est possible si chaque molécule de ces pigments se trouve dans une zone d'environ 10^3 Å^2, il est évident que la surface disponible par molécule de chlorophylle permet un transfert d'énergie très efficace. Cela est vrai aussi pour les chloroplastides lamellés si la chlorophylle est supposée être également répartie sur la surface lamellaire dans la totalité des chloroplastides. Du fait que le chloroplastide lamellé dans son entité a une fluorescence rouge au microscope à lumière ultraviolette, il semble probable que cette répartition homogène de la chlorophylle est une réalité. Cette conclusion est étayée par le fait qu'à l'examen au microscope électronique, la zone entière de lamelles de ce type de chloroplastides se colore régulièrement par le tétra-oxyde d'osmium. Avec des chloroplastides «intermédiaires» [7], de tels résultats ne pourraient être que partiellement vrais.

Du fait que le pigment supportant les lamelles est constitué de fines couches dont l'épaisseur est d'environ 50 Å, il s'agit de savoir si les pigments se présentent sous une certaine orientation. Il a déjà été dit que l'orientation pourrait faciliter le transfert d'énergie. Des recherches antérieures, dans lesquelles fut mesuré le dichroïsme, fournirent des résultats contradictoires. Toutefois, J. C. Goedheer [19] a signalé pourquoi la mesure du dichroïsme ne convient pas à l'étude de l'orientation pigmentaire dans ces objets particuliers. Il a étudié le dichroïsme (anisotropie de l'absorption) en même temps que la biréfringence (anisotropie de l'indice de réfraction) et la polarisation de fluorescence de chlorophylles, à la fois *in vitro* et *in vivo*. Ces expériences amenèrent les conclusions suivantes. Premièrement, dans le chloroplastide, les molécules de chlorophylle sont probablement concentrées

en fines pellicules occupant moins de 7% de la coupe transversale d'un chloroplastide lamellé ou d'un granum. Deuxièmement, la combinaison des expériences *in vitro* et *in vivo* montra que très probablement une orientation préférentielle de l'oscillateur responsable de la bande d'absorption dans le rouge de la chlorophylle existe dans l'orientation des lamelles. La même chose se produit pour «l'oscillateur infra-rouge» de la bactériochlorophylle. De plus, comme il a été prouvé expérimentalement que les oscillateurs en question sont orientés dans la direction de la plus courte dimension du système conjugué de noyaux qui constituent le sommet «porphyrine» des molécules de chlorophylle et de bactériochlorophylle, il est possible de conclure que très probablement les noyaux porphyrine de ces pigments sont orientés de manière préférentielle dans le plan des lamelles.

Toutefois, on constata que cette orientation était relativement faible. Pour expliquer ce phénomène, Goedheer a suggéré que les molécules de pigment pourraient être disposées sur la surface incurvée des macromolécules de lipoprotéines sphériques ou spiralées déjà mentionnées.

Dans les grana ou les chloroplastides lamellés, les couches de lipoprotéines et les lamelles alternent avec des couches de lipides librement orientés. Des expériences de coloration avec la rhodamine-B font supposer que les caroténoïdes ne se trouvent pas entre ces lipides libres. Ainsi, ils seraient probablement situés, avec les molécules de chlorophylle, à la surface des couches lipoprotéinacées. Si l'on totalise les preuves expérimentales disponibles, on peut dire que les lamelles de grana et les chloroplastides lamellés sont porteuses des pigments photosynthétiques et, comme telles:

1) rendent possible le fonctionnement des pigments photosynthétiques dans le milieu aqueux de la cellule en fournissant le complexe nécessaire de pigments photosynthétiques avec leurs lipoprotéines associées;

2) assurent le maintien des distances intermoléculaires permettant un transfert d'énergie efficace. Cela peut être important parce que, au cours de la formation photosynthétique de substances osmotiques, il peut se produire des modifications dans la teneur en eau des chloroplastides. Ainsi les distances intermoléculaires des pigments pourraient considérablement augmenter si ces substances se trouvaient à l'état plus ou moins dissous. Une telle situation pourrait se produire si les pigments étaient solubilisés, par exemple par combinaison avec d'autres substances;

3) pourraient faciliter le transfert d'énergie par orientation des pigments photosynthétiques, et,

4) sont porteuses de centres enzymatiques impliqués dans les premières étapes de la chaîne de réactions photosynthétiques et ainsi garantissent une liaison étroite entre ces centres enzymatiques et les molécules de chlorophylle sous diverses conditions (*cf.* 2).

Leyon [9] et von Wettstein [10] ont pensé à une autre fonction des lamelles. Le fait que les lamelles puissent être entassées de manière plus ou moins serrée pourrait donner lieu à la présence de canaux capillaires aplatis au travers du chloroplastide. Les produits obtenus par photosynthèse pourraient être rapidement transportés le long des parois de ces canaux. Cela vaudrait certainement la peine d'essayer d'obtenir la confirmation expérimentale de cette hypothèse.

BIBLIOGRAPHIE

[1] RABINOWITCH, E. I. «Symposium on the photochemistry of the solid and liquid state». National Research Council, Dedham. 1957. (Sous presse.)

[2] *Idem.* «Photosynthesis and related processes». Interscience Publishers Inc., New-York. Vol. I, 1945. Vol. II, Partie 1, 1951. Vol. II, Partie 2, 1956.

[3] DUYSENS, L. N. M. Thèse. Université d'Utrecht. 1952.

[4] DUTTON, H. J., MANNING, W. M. et DUGGAR, B. M. *J. phys. Chem.*, **47**, 308, 1943.

[5] WASSINK, E. C. et KERSTEN, J. A. H. *Enzymologia*, **12**, 3, 1946.

[6] FÖRSTER, Th. «Fluoreszenz organischer Verbindungen». Vandenhoeck et Ruprecht, Göttingen. 1951.

[7] BUTTERFASZ, Th. *Protoplasma*, **48**, 368, 1957.

[8] CHARDARD, R. et ROUILLIER, C. *Rev. Cytol., Paris*, **18**, 153, 1957.

[9] LEYON, H. *Svensk kem. Tidskr.*, **68**, 70, 1956.

[10] WETTSTEIN, D. VON. *Exp. Cell Res.*, **12**, 427, 1957.

[11] THOMAS, J. B. *Progress Biophys. Biophys. Chem.*, **5**, 109, 1955.

[12] NIKLOWITZ, W. et DREWS, G. *Arch. Mikrobiol.*, **24**, 134, 1956.

[13] *Idem. Ibid.*, **23**, 123, 1955.

[14] THOMAS, J. B., POST, L. C. et VERTREGT, N. *Biochim. Biophys. Acta*, **13**, 20, 1954.

[15] THOMAS, J. B., BLAAUW, O. H. et DUYSENS, L. N. M. *Ibid.*, **10**, 230, 1953.

[16] FREY-WYSSLING, A. et STEINMANN, E. *Vjschr. naturf. Ges. Zürich*, **98**, 20, 1953.

[17] WHATLEY, F. R., ALLEN, M. B., ROSENBERG, L. L., CAPINDALE, J. B. et ARNON, D. I. *Biochim. Biophys. Acta*, **20**, 462, 1956.

[18] THOMAS, J. B. et NUBOER, J. F. W. (Sous presse.)

[19] GOEDHEER, J. C. Thèse. Université d'Utrecht. 1957.

Revue des livres

MATHÉMATIQUES

EGGLESTON, H. G.: *Problems in Euclidean Space*. Pp. VIII + 165. Pergamon Press Ltd., Londres. 1957. 40s.

Ce bref ouvrage, extrêmement intéressant mais assez cher, remporta le Prix Adams de l'Université de Cambridge en 1955–56. C'est un exposé remarquable de la notion de convexité dans la recherche mathématique contemporaine. Les propriétés géométriques dont les triangles sont les courbes convexes extrêmes et l'asymétrie des courbes de largeur constante sont parmi les problèmes typiques étudiés en détail. Les chapitres de début s'occupent de questions générales et la difficulté principale est de prévoir des résultats corrects. Au dernier chapitre, par contre, les spécialistes n'auront souvent pas de mal à les deviner mais il faut alors prouver l'exactitude de la supposition.

Les problèmes de convexité découlent de plusieurs points de vue distincts: (1) conséquences du fait qu'un système convexe clos est l'intersection de mi-espaces clos; (2) comportement de systèmes convexes en tant que types spéciaux de systèmes reliés; (3) découverte des propriétés extrêmes de systèmes convexes particuliers; (4) rapports de figures géométriques simples avec des systèmes convexes généraux comme approximation directe et (5) découverte de problèmes où des systèmes convexes à deux ou trois dimensions sont des généralisations appropriées d'intervalles à une dimension.

Le sujet est traité tout au long avec une finesse très agréable et ce petit livre sera extrêmement utile à ceux qui veulent connaître les résultats des travaux les plus récents dans cette branche captivante des mathématiques modernes pures.

G. TEMPLE

PHYSIQUE

MASSIGNON, D.: *Mécanique statistique des fluides*. Pp. XIV + 264. Dunod, Paris. 1958. 3 900 fr.

Présenté sous les auspices du C.N.R.S., cet ouvrage fait partie de la série mathématique dirigée par le Professeur A. Lichnerowicz du Collège de France. Il emploie un système compliqué de vecteurs et fait un exposé systématique des formulations générales communes à toutes les théories statistiques des fluides plus ou moins condensés, les gaz parfaits ou états critiques ne figurant qu'à titre de cas spéciaux.

En ce qui concerne les systèmes de particules sujettes à l'agitation thermique, les mesures locales, même celles qui sont dénommées instantanées, ne donnent que des valeurs moyennes, précisées ou déviées selon les besoins du moment. A l'aide des notions essentielles de dispersion et de corrélation, les valeurs hydrodynamiques sont correctement définies en termes de variables d'Euler et conduisent aux fluctuations de densité, de pression et de courant de masse, correspondant à la température des fluides et aux caractéristiques thermodynamiques. Tout en étant généralement inaccessibles de façon directe, ces fluctuations augmentent près du point critique.

L'hydrodynamique et la statistique quantiques sont développées au dernier chapitre en vue des systèmes de bosons et fermions, pour expliquer le grand volume et la basse température critiques de l'hydrogène et de l'hélium. Les définitions, notes et formules renfermées dans le supplément seront utiles même à ceux qui n'ont pas l'habitude de la mécanique statistique.

E. S. TRAVERS

FIELD, F. H. et FRANKLIN, J. H.: *Electron Impact Phenomena and the Properties of Gaseous Ions*. Pp. IX + 349. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1957. $8,50.

Ce volume renferme une abondante documentation critique sur les phénomènes de chocs d'électrons. Il passe en revue les propriétés des ions gazeux surtout en ce qui concerne la chimie physique des systèmes étudiés. L'amélioration récente de la quantité et de la variété des connaissances dans ce domaine résulte largement de la commercialisation des spectromètres de masse et une bonne partie du livre est consacrée à ces travaux. L'étude est cependant générale et s'occupe de la classification et de l'interprétation de tous les renseignements énergétiques concernant les phénomènes de chocs d'électrons. Leur importance est mise en relief par rapport à la structure moléculaire et au comportement chimique; on trouve également les derniers travaux théoriques sur les potentiels d'ionisation et les phénomènes de fragmentation. Un chapitre entier s'occupe de la relation des potentiels d'ionisation des molécules organiques gazeuses avec les mécanismes de réactions en solution se produisant au moyen d'ions simples ou doubles. On attire aussi l'attention sur la signification possible de ce genre de renseignement dans la chimie des radiations et la catalyse. L'ouvrage résume et relie utilement nos connaissances dans ce domaine d'importance croissante.

W. C. PRICE

CHIMIE

CALDIN, E. F.: *An Introduction to Chemical Thermodynamics*. Pp. XV + 424. Clarendon Press, Oxford. 1958. 50s.

Introduction directe à la thermodynamique chimique, basée sur la méthode de Gibbs. On y trouve naturellement l'équation fondamentale de Gibbs: $dE = dq + dw + \mu_1 dn_1$ à la page 29, ce qui entraîne immédiatement la définition des potentiels chimiques. Mais la condition $dE = \mu_1 dn_1$, représentant l'addition d'un corps sans gain de chaleur et sans travail, est quelque peu difficile à réaliser. Les étudiants n'ayant pas une tournure d'esprit très analytique pourront avoir de la difficulté sur ce point si c'est la première fois qu'ils abordent le sujet. A part cela, l'ouvrage est clair et logique et suffisamment illustré d'exemples appropriés. Tout auteur a des problèmes d'organisation et, souvent, ce que l'on gagne d'un côté est perdu de l'autre. Il semble difficile, par exemple, de traiter des piles galvaniques comme moyen de déterminer les potentiels standards d'ions (pp. 252–68) alors que les coefficients d'activité des électrolytes en solution ne sont étudiés qu'à la page 386, au tout dernier chapitre qui ne compte que 20 pages. Le prix fixé par les éditeurs est nettement trop élevé pour un manuel d'étudiants comme celui-ci.

J. A. V. BUTLER

FAIRES, R. A. et PARKS, B. H.: *Radioisotope Laboratory Techniques*. Pp. XII + 244. George Newnes Ltd., Londres. 1957. 25s.

Ce livre décrit brièvement les divers types de laboratoire, d'appareils et de techniques nécessités par l'emploi des radio-isotopes. Les premiers chapitres font une étude élémentaire de la fabrication et des propriétés des isotopes radioactifs, des bâtiments et de l'équipement nécessaires à leur manipulation sans danger ainsi que des instruments qu'il faut pour leur identification et

dosage. Les derniers chapitres indiquent comment employer les radioisotopes comme marqueurs et comme source de radiation ionisante et pénétrante. Les suppléments donnent, par exemple, les pertes de vitesse de calcul pour la seule période de paralysie de 400 μsec, une courbe d'énergies pour les électrons mono-énergétiques et une liste choisie de radioisotopes fabriqués par pile et de leurs propriétés. D'une part, l'ouvrage renferme quelques renseignements pratiques utiles et nouveaux sur les dangers de ces corps, les aménagements de laboratoire et les méthodes de manipulation. On trouve, par exemple, la description d'un filtre démontable original et utile pour recueillir les précipités géométriquement uniformes. Par ailleurs, les principes sont insuffisamment traités. Un peu plus de soin dans la rédaction aurait été souhaitable. Nous ne recommandons donc pas ce livre comme introduction générale aux techniques d'emploi des radio-isotopes mais il rendra service au technicien intelligent ayant une idée nette de l'utilité de ceux-ci mais ne se rendant pas compte de leur signification purement pratique de laboratoire. F. P. W. WINTERINGHAM

THOMSON, R. H.: *Naturally Occurring Quinones*. Pp. VII + 302. Academic Press Inc., New-York; Butterworth's Scientific Publications, Londres. 1957. 50s.

La dernière étude complète des quinones occupait 59 pages environ du volume de Mayer et Cook paru en 1943 et intitulé *The Chemistry of Natural Colouring Matters*. Le livre actuel témoigne de la rapide expansion du sujet; on y trouve plus de 150 quinones naturelles extraites de plantes, champignons, lichens, insectes et oursins allant en complexité de la *p*-benzoquinone aux érythroaphines nonacycliques. Bien que la majorité de ces quinones contribuent peu aux coloris naturels, ce n'est pas toujours le cas: par exemple, la pariétine anthraquinone (physcie) du lichen commun jaune-orangé, *Xanthoria parietina*, fait un ornement pittoresque aux rochers, toits et murailles de la campagne et du bord de mer.

Les divers chapitres traitent des fonctions et de la biosynthèse de ces corps, des benzoquinones comprenant les terphényl- et dibenzo-quinones, du vaste groupe des naphthaquinones, des anthraquinones qui comptent de nombreux colorants connus depuis longtemps et certains pigments d'insectes, des quelques phénanthraquinones et le dernier chapitre des aphines et du pigment photodynamique, l'hypéricine. Il y a quelque 1000 notes renvoyant aux publications originales, un bon index général et des glossaires zoologique et botanique.

Livre intéressant, bien rédigé et bien imprimé qui est beaucoup mieux qu'un catalogue de formules. W. BAKER

SWAN, G. A. et FELTON, D. G. I.: *Phenazines*. Pp. XIX + 693. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $22,50.

Ce volume est le 11e de la série de monographies intitulée *The Chemistry of Heterocyclic Compounds* présentée par A. Weissberger et de niveau comparable à celui des précédents. La première partie, de G. A. Swan, étudie les phénazines (9:10-diaza-anthracènes) qui ne se fusionnent pas avec d'autres systèmes cycliques et passe en revue leurs méthodes générales de synthèse, leurs homologues, dérivés hydrogénés et produits de substitution avec mention spéciale des dérivés hydroxy, kéto et amino. Viennent ensuite des chapitres séparés sur les safranines, les indulines et les nigrosines, le noir d'aniline, les pigments bactériens dérivés du noyau phénazine et les propriétés biologiques.

La partie II, de D. G. I. Felton, résume les connaissances actuelles sur les monobenzophénazines et sels apparentés de phénazinium avec leurs dérivés hydroxy et amino, les phénazines penta- et polycycliques, l'indanthrone et les phénazines fusionnées avec d'autres systèmes hétérocycliques.

C'est avant tout un ouvrage de référence et chaque chapitre a une bibliographie très complète; il y a une table des matières développée. Malgré tout, le livre se lira avec plaisir, non seulement à cause de l'excellente rédaction mais des agréables formules développées abondamment employées. Les auteurs ont fait œuvre très utile en condensant la vaste littérature prolixe des phénazines en une revue logique et ordonnée. W. BAKER

CRISTALLOGRAPHIE

WILSON, A. J. C., publié par: *Structure Reports for* 1951, Vol. XV. Pp. VIII + 588. International Union of Crystallography. Oosthoek's Uitgevers Mij., Utrecht. 1957. 210s.

Ce volume, abondamment illustré d'excellentes figures, donne la structure cristalline détaillée de quelque 2 000 métaux, composés organiques et minéraux, obtenue par les rayons X ou les méthodes de diffraction des neutrons. Ces rapports très bien ordonnés parurent en 1951 et constituent souvent une courte revue d'un sujet particulier avec toute précision secondaire d'ordre structural. On trouve, par exemple, cinq pages sur le ferro-électrique $BaTiO_3$, objet de treize articles parus dans huit revues différentes en 1951. Les composés de l'uranium occupent six pages, les polysaccharides et divers polymères, dix respectivement. Les articles parus dans des revues soviétiques ou autres publications d'accès difficile en Grande-Bretagne ne sont pas oubliés et, bien qu'en général les recherches sur la texture, les précisions sur les méthodes de poudre et de diffraction d'électrons ne soient pas indiquées à moins d'intérêt spécial concernant la structure, exception est faite pour les renseignements tirés de ces publications. Dans l'ensemble, le but a été de présenter au lecteur tous les détails possibles d'ordre structural (recalculés, si besoin est) pour lui éviter de se reporter à l'article original, à moins qu'il ne s'intéresse davantage à la méthode d'analyse qu'aux résultats obtenus. Ces volumes forment une série qui sera indispensable dans de nombreuses disciplines.

KATHLEEN LONSDALE

GÉOPHYSIQUE

Annals of the International Geophysical Year. Vol. III, partie 1, pp. XIX + 167; parties 2–4, pp. 173–381. Vol. IV, parties 1–3, pp. 201; parties 4–7, pp. 207–393. Vol. V, parties 1–3, pp. 244. Pergamon Press Ltd., Londres. 1957. Abonnement par volume: 120s.

L'objet primordial de l'A.G.I. est de faire des relevés simultanés et comparables de quantités géophysiques concernant principalement l'atmosphère. Une telle entreprise de coopération mondiale présente un grave problème de communication et d'expression. Les pays participants étant de stades de développement scientifique très différents et de langues diverses, il est évidemment assez difficile de s'assurer que les mesures soient prises et converties correctement et les résultats présentés sous une forme intelligible, utile et comparable. Les «Annales de l'Année Géophysique Internationale» s'efforcent de résoudre certains aspects de ce problème. Dans la

préface du premier volume à paraître, le Professeur Chapman, Président du comité organisateur de l'A.G.I., déclare que les Annales «montreront la conception de l'événement, sa préparation, les préparatifs et les programmes et, par la suite, les progrès réalisés et les principaux résultats obtenus par l'A.G.I.».

Le volume III est un manuel d'instructions pour les relevés ionosphériques. La partie 1 constitue une étude de 167 pages sur les sondages ionosphériques verticaux. Le grand nombre de rapports reproduits la rendra particulièrement utile à ceux qui sont chargés de postes éloignés. La partie 2 s'occupe de la mesure de l'absorption ionosphérique, la partie 3 des courants dans l'ionosphère et la partie 4 des bruits de fond radiophoniques, des sifflements, des météores et de la dispersion ionosphérique.

Au volume IV, la partie 1 renseigne brièvement sur la mesure de la radioactivité naturelle et artificielle de l'atmosphère et de la mer. La partie 2 décrit les méthodes d'observation de l'aurore boréale. La partie 3 apprend à mesurer la longitude et la latitude. Les parties 4 et 5 donnent les méthodes de calcul et de conversion des mesures du champ magnétique terrestre. La partie 6 décrit la meilleure présentation des résultats sismologiques et la partie 7 les instruments de mesure du flux des neutrons et des mésons.

La partie 1 du volume V constitue un manuel copieux sur la mesure de l'ozone atmosphérique. La partie 2 décrit les mesures d'aurores boréales avec un appareil capable de photographier le firmament entier. La partie 3 fait la liste des postes de radio dans l'Antarctique.

Une publication telle que celle-ci renferme inévitablement des matériaux très divers et le lecteur éprouvera naturellement de la difficulté à trouver les renseignements désirés, difficulté augmentée par l'absence d'index d'auteurs et de sujets. Chaque partie a une table des matières, mais le seul moyen de découvrir les questions traitées dans un volume donné ou le nombre de parties qui le constituent semble être de parcourir l'ouvrage pour consulter ces tables. L'utilité de cette œuvre coûteuse et approfondie sera sérieusement affectée si l'on permet la publication d'une longue série de volumes où il est pratiquement impossible de trouver le renseignement cherché.

E. C. BULLARD

BIOLOGIE

CARTER, G. S.: *A Hundred Years of Evolution.* Pp. x + 206. Sidgwick and Jackson, Londres. 1957. 21s.

Le Dr Carter retrace ici brièvement l'histoire du darwinisme à l'occasion du centenaire prochain de la publication de «L'origine des espèces». C'est un récit plaisamment écrit et mi-vulgarisé qui ne contient rien de nouveau pour le biologiste professionnel mais qui est remarquable par sa précision et sa présentation intelligente. Il retiendra particulièrement les scientifiques d'autres domaines, les profanes avertis et le personnel enseignant.

Judicieusement, l'ouvrage ne se limite pas au siècle mentionné dans le titre; les chapitres du début replacent «L'origine des espèces» dans le cadre des connaissances biologiques de l'époque et il y a un bon exposé du climat philosophique, social et religieux où «explosa» la sensationnelle conception. Les controverses de la fin du XIXe siècle sont légèrement esquissées pour permettre de sonder les véritables difficultés scientifiques rencontrées par la théorie au XXe siècle et la position du néo-darwinisme émerge clairement. Un bon glossaire et un index bref mais bien fait augmentent la valeur du volume.

J. E. HARRIS

BIOCHIMIE

FOX, S. W. et FOSTER, J. F.: *Introduction to Protein Chemistry.* Pp. VIII + 459. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 76s.

Ce livre présente une vaste documentation intéressante sous une forme facilement assimilable à l'étudiant. Comme il y a aussi une bonne liste bibliographique renvoyant à des revues et articles originaux en fin de chaque chapitre, il servira également de point de départ à des études plus poussées. Il traite d'abord, logiquement, des amino-acides qui occupent près d'un quart de l'ouvrage, puis des peptides; vient ensuite une étude des propriétés des protéines en général; un grand nombre de protéines individuelles sont aussi décrites. Les auteurs ont nettement essayé de simplifier le texte et d'en faciliter la lecture. Les sections décrivant, avec un minimum de mathématiques, des méthodes de recherche physique sur les protéines rendront surtout service aux nombreux scientifiques dont les disciplines se rattachent à la biologie et la médecine. Les figures sont nombreuses et certaines illustrent admirablement des techniques spéciales. D'autres, par contre, sont superflues. A quoi sert, par exemple, la figure 18-4 qui consiste en photographies de bouteilles étiquetées portant le nom de fractions de plasma de sang humain? La figure 8-1 représentant un appareil d'électrophorèse à papier est supposée illustrer la chromatographie sur papier.

Un élément personnel entre toujours dans le choix et l'estimation des matériaux composant une œuvre de ce genre, mais il nous semble regrettable que l'auteur ait choisi la conversion de pepsinogène en pepsine et en ait fait une étude poussée pour illustrer l'activation d'un zymogène plutôt que le cas mieux compris et d'une façon plus simple du trypsinogène ou du chymotrypsinogène. Cinq pages sont consacrées à l'hémoglobine, mais sur les autres hémo-protéines on ne trouve qu'une liste de quelques constantes physiques du cytochrome C. Les phosphoprotéines et glycoprotéines ne sont aussi citées qu'en passant; mais il faut admettre que des ouvrages plus complets ne font souvent pas davantage.

Au chapitre 9 sur la détermination de la structure des peptides, on ne fait aucune distinction nette entre les méthodes employées couramment dans les travaux récents et celles qui ont surtout un intérêt historique. Bien qu'un certain nombre de ces dernières soient comprises, la méthode d'hydrazinolyse des résidus terminaux carbonés ne l'est pas. On trouve une opinion surprenante à la page 148 : les points de fusion simples et mélangés seraient d'application générale dans l'identification des peptides. On relève aussi une erreur à la page 309 : les protéines dénaturées ne donnent pas un diagramme de rayons X du type α-kératine. La page 372 déclare que la séparation des chaînes A et B de l'insuline fut effectuée par colonnes. En fait, aucune méthode courante employée pour cette séparation n'utilise de colonne. C'est peut-être trop demander que de vouloir un manuel de biochimie moderne sans inexactitudes. Il est possible qu'un des meilleurs rôles d'une science jeune et envahissante comme la biochimie soit de débarrasser une fois pour toutes l'esprit du débutant de l'illusion de l'infaillibilité du texte imprimé.

F. R. JEVONS

BOTANIQUE

CERUTI, A.: *Il Nuovo Pokorny.* Pp. VIII + 680. Loescher, Turin. 1957. 4 800 lires.

La «Botanique Illustrée» de Pokorny, parue en 1836, eut quelque 30 éditions et révisions successives et resta une œuvre classique pendant de nombreuses années. Le volume actuel n'est pas une révision de plus; le texte a été presque entièrement refait mais la méthode originale de présentation didactique et un certain nombre d'illustrations persistent.

C'est un essai d'exposé systématique du règne végétal utilisant dans la mesure du possible les «types» communs ou les plus caractéristiques de chaque groupe. Des Thallophytes aux Spermatophytes, le système de classification est celui d'Engler et la nomenclature est mise à jour pour se conformer à celle en usage sur le Continent. Chaque groupe est précédé d'une courte légende analytique dont les caractères sont choisis pour faire ressortir sa morphologie fondamentale. Ces légendes sont simples, pratiques et, à l'exception des groupes inférieurs, ne demandent pas l'emploi d'instrument plus compliqué que la loupe. Un bref exposé accompagne chaque groupe où l'on trouve, sous l'en-tête: Biologie, un peu de physiologie, peu ou pas d'écologie et le cycle de vie des végétaux en question. Bien que brefs et très simplifiés, ces exposés sont généralement conformes aux connaissances modernes. Les illustrations sont nombreuses et de bonne qualité pour la plupart, surtout celles qui ont été préparées spécialement pour cette œuvre par U. Tosco. Certaines reproductions d'autres auteurs ne sont pas du même niveau.

Il semble à l'auteur que l'œuvre permettra à l'étudiant et à l'amateur intelligent d'acquérir une bonne connaissance de la botanique par ses propres moyens. Mais, bien qu'elle convienne certainement aux méthodes pédagogiques d'outre-Manche, elle est sans doute trop superficielle sur certains points pour être de la même utilité dans les classes britanniques.

F. H. WHITEHEAD

ZOOLOGIE

Reis, J. et Nobrega, P. (avec la collaboration de A. S. Reis, R. C. Bueno et M. Giovannoni): *Tratado de Doenças das Aves* (2e édition). Vol. I, pp. 391; Vol. II, pp. 416; Vol. III, pp. 318; Vol. IV, pp. 428. Instituto Biológico de São Paulo, São Paulo. 1956. 950 cruzeiros brasiliens.

Dès la parution de ce livre en 1936, on se rendit compte qu'il resterait l'ouvrage classique pendant de nombreuses années à venir. Cette seconde édition, impatiemment attendue, confirme ce pronostic. La littérature sur les maladies des oiseaux a été entièrement revue jusqu'en 1954 et l'ouvrage occupe maintenant quatre fois son volume original. Il est divisé en quatre parties groupées en deux tomes. La plupart des sections ont été rédigées à nouveau en grande partie et il y a un nombre considérable d'illustrations nouvelles. Les demi-teintes ont un peu souffert d'être imprimées sur un papier de qualité inférieure à celui de la première édition, mais elles restent bonnes dans l'ensemble. Chaque chapitre se termine par une bibliographie dont la valeur seule rendra le livre indispensable au spécialiste de pathologie avienne ou comparée.

Le volume I traite des maladies à virus très à fond jusqu'à l'infection à virus du hibou. La section sur la leucose, inexplicablement séparée du reste des maladies néoplastiques a une bonne section d'introduction sur l'hématologie avienne. Il y a une étude bien équilibrée de la dispute concernant la relation des leucoses avec la paralysie des volailles et les tumeurs filtrantes. La photographie de l'endothéliome ovarien (figure 136) n'est pas convaincante et le diagnostic de ces tumeurs très douteuses n'a pas de preuve histologique.

On relève une omission grave dans la section (17) traitant des maladies d'étiologie incertaine. La maladie du «cœur rond», bien que géographiquement limitée, a été l'objet de travaux assez nombreux et aurait dû être citée.

Le volume II décrit les maladies dues aux bactéries et moisissures et est de niveau excellent tout au long, bien que l'emploi du terme *Actinomyces necrophorus* au lieu de *Fusiformis necrophorus* puisse prêter à confusion au premier abord.

Le volume III, sur les maladies dues aux parasites protozoaires et arthropodes, renferme une revue longuement attendue et très intéressante de la toxoplasmose des oiseaux; elle vient au moment où l'on reconnaît de plus en plus le rôle pathogénétique de cet organisme assez mystérieux.

Le volume IV s'occupe du reste de la question: maladies causées par les vers intestinaux et maladies de la nutrition, qui sont traitées en détail et suivies de compte rendus plus brefs de maladies systémiques et d'organes spéciaux. On trouve aussi les habitudes dégénérées, les poisons, les anomalies de développement, l'hygiène, la thérapeutique générale et la chirurgie. Il y a 8 planches en couleur à la fin du volume. Seules, quelques fautes d'impression ne figurent pas dans la courte liste d'erreurs et elles ne sont pas importantes. Dans l'ensemble, c'est une œuvre d'autorité monumentale. Espérons que la prochaine édition ne se fera pas si longtemps attendre que celle-ci.

J. G. CAMPBELL

MÉDECINE

Bessis, M.: *Le sang et la transfusion sanguine.* Pp. VIII + 139. Dunod, Paris. 1957. 740 fr.

Ce livre est le premier de la série «La nature et l'homme» dirigée par le rédacteur-en-chef de «La Nature». Il est plein de faits étonnants depuis l'admission par Leeuwenhoek que les «gros globules» vus par Malpighi dans les vaisseaux sanguins étaient des globules rouges et qu'ils étaient responsables de la couleur du sang.

Nous arrivons bientôt au moment où les globules blancs et les plaquettes furent découverts. Les principes du microscope à phases contrastées et du microscope électronique sont alors expliqués simplement et nous faisons connaissance avec les nouvelles merveilles qu'ils permirent de découvrir. Le processus naturel qui aboutit au lancement dans la circulation sanguine de 250 000 millions de globules rouges par jour est étudié avec toutes les anomalies possibles. Il en est de même pour les globules blancs et plaquettes.

On trouve aussi des chapitres sur la coagulation, les groupes sanguins, la transfusion et l'histoire captivante de la maladie hémolytique du nouveau-né chez l'homme et les mules du Poitou.

L'ouvrage est superbement illustré de microphotographies prises au microscope électronique et à phases contrastées. Il ne manquera pas d'intéresser le spécialiste et le profane curieux de se renseigner sur le liquide merveilleux.

R. R. RACE

Feldberg, W. S., publié par: *British Medical Bulletin, Vol.* XIII, No. 3. *Autonomic Nervous System.* The British Council, Londres. 1957. 20s.

On admet généralement que la Grande-Bretagne fut longtemps à la tête des recherches physiologiques et pharmacologiques sur le système nerveux autonome et cette remarquable collection d'articles témoigne de la vigueur maintenue de la recherche britannique dans ce domaine. Tous se lisent avec plaisir et la plupart

renferment des idées originales et intéressantes. Très peu de points semblent contestables, mais il n'est pas possible d'entrer ici dans les détails. Le recueil débute comme il convient par deux compte rendus excellents, certainement les meilleurs à ce jour, des processus métaboliques intervenant dans la production des substances de transmission autonome. On trouve aussi plusieurs bons exposés des rôles divers des communicateurs chimiques libérés par les terminaisons nerveuses postganglionnaires cholinergiques et adrénergiques. Des contributions critiques sur divers types exceptionnels d'action autonome et sur des constatations d'anatomie et de régénération intéressant particulièrement le neurologue clinicien augmentant encore l'envergure de l'œuvre, dont certains aspects intéresseront directement la majorité des chercheurs de médecine et de physiologie comparée. Comme le déclare la dernière phrase de l'introduction de Dale, qui fera une conclusion appropriée à cette revue: «on pressent ici l'imminence des progrès à venir qui, avec un peu d'habileté, d'intuition scientifique et d'audace, ouvriront des perspectives immenses de savoir sur la transmission jonctionnelle dans le système nerveux entier». J. C. ECCLES

TECHNOLOGIE

SAX, Irving N.: *Dangerous Properties of Industrial Materials*. Pp. v + 1467. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 18os.

Ce livre est une révision nécessaire de l'œuvre antérieure de l'auteur, *Handbook of Dangerous Materials*. Il a augmenté de volume et traite maintenant de plus de 8 500 matériaux. De plus, la documentation est présentée de façon plus rationnelle. L'auteur a essayé de faire un tout de la vaste masse d'information en reliant les propriétés des matériaux énumérés à la section 10 (Produits chimiques généraux) aux neuf sections précédentes traitant chacune d'un aspect particulier de la prévention et du remède des dangers pouvant résulter de l'emploi de ces matériaux.

Ces neuf sections sont remarquables. En raison de l'étendue du terrain traité, la documentation qu'elles renferment est présentée de façon très concise et se limite surtout aux principes fondamentaux, sûrs et clairement énoncés. Malgré tout, on relève un certain nombre de chevauchements entre sections. Pour cette raison et aussi à cause des renseignements qu'elles renferment, ces sections gagneraient à être accompagnées d'une table des matières.

La valeur de la documentation et sa présentation sont telles que le livre constitue une garantie immédiate pour tous ceux qui se servent de matériaux dangereux. C'est là son but.

W. M. DIGGLE

SAGARIN, Edward, publié par: *Cosmetics—Science and Technology*. Pp. XIX + 1433. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $25.

Cette œuvre est correctement décrite par les éditeurs comme «le premier volume collectif dans l'histoire de la littérature des cosmétiques». Elle fait un apport considérable à la science, plutôt qu'à l'art, de ces derniers grâce à la réunion laborieuse de 53 sections différentes, accompagnées chacune de notes bibliographiques fournies et écrites par un spécialiste dans chaque domaine restreint. Tous les produits de parfumerie sont traités, des hormones aux dépilatoires en passant par les dentifrices, au point de vue emploi et formulation. La manufacture et l'aspect physiologique sont étudiés dans d'autres sections. Les matières premières des spécialités modernes sont bien traitées et se retrouvent dans un index qui donne aussi les fabricants; les lecteurs regretteront la nécessité de se limiter en grande partie à ceux d'origine américaine.

L'ouvrage sera indispensable comme œuvre générale de référence à ceux qui prennent une part active dans cette industrie et complétera utilement les volumes classiques de Harry et De Navarre. Il y a pourtant quelques critiques à faire, sur l'importance exagérée accordée à certains aspects, par exemple; on ne voit pas pourquoi le contenu aqueux épidermique et les vitesses de perméabilité n'occupent qu'une page sans citer les travaux de Matoltsy alors qu'il y en a six sur les allongeurs d'ongles. De plus, la faiblesse des auteurs d'articles pour leurs théories personnelles et leurs travaux a conduit dans certains cas à des fautes de jugement; ainsi, le système dit HLB de sélection d'émulsionnant a certainement de la valeur, mais n'est-il pas aussi l'œuvre de Schulmann? Finalement, il y a des erreurs d'impression qui sont le plus souvent simplement gênantes, mais qui, dans un cas, rendent un paragraphe incompréhensible. Le prix est assez élevé pour qu'on s'attende à la perfection. R. F. L. THOMAS

HISTOIRE DE LA SCIENCE

MADSEN, E. Rancke: *The Development of Titrimetric Analysis till* 1806. Pp. 239. G.E.C. Gad, Copenhague. 1958. 20 couronnes danoises.

Le Dr Rancke Madsen s'occupe ici des débuts de la titrimétrie qu'il définit comme la détermination d'un corps par sa possibilité de participation à un processus chimique. Il commence par l'œuvre de Boyle qui étudia l'effet des acides et des alcalis sur les couleurs végétales, annonçant ainsi, selon l'auteur le principe de la titrimétrie et s'arrête à Descroizilles que beaucoup considèrent comme le père de l'analyse volumétrique et qui inventa la première burette pratique. En dépit de la revue complète du sujet publiée par de Koninck en 1901 en français, on regrette que l'auteur n'ait pas poursuivi son enquête jusqu'en 1853, date à laquelle l'analyse volumétrique moderne débuta vraiment avec l'apparition de la burette de Mohr; beaucoup d'articles intéressants, et même parfois importants, furent publiés dans l'intervalle.

Il est impossible de rendre justice ici à l'enquête détaillée de l'auteur sur le développement de la notion de titrimétrie et sur l'ambiance chimique changeante dans laquelle elle évolua, mais il faut rendre hommage à son étude minutieuse de plus de 300 livres et articles.

Le livre, qui est une traduction, se lirait plus facilement s'il avait été soumis à un éditeur anglais et si les longues citations en français et allemand désuets avaient été traduites également. De plus, les efforts d'adaptation de la nomenclature à la chimie analytique ont conduit l'auteur à forger des termes qui ne plairont pas à tous. Néanmoins, ceux qui s'intéressent aux anciennes méthodes analytiques seront reconnaissants au Dr Rancke Madsen d'avoir mis ces connaissances à leur disposition. C. R. N. STROUTS

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

ROMAN, W., publié par: *Yeasts*. Pp. 246. Dr W. Junk, La Haye. 1957. 25 fl.

Premier volume de la série *Biologia et Industria* destinée à faire le pont entre les industries utilisant des matières premières biologiques et les travaux des biologistes, chimistes et physiciens. Il couvre les applications des levures à la boulangerie, au brassage de la bière et à la fabrication du vin et du saké. C'est la première description en langue européenne du saké et levures similaires et c'est aussi le premier compte rendu publié de la production industrielle de la levure comestible écrit par son inventeur. Il y a de nombreux renvois aux publications originales.

The Year Book of the Royal Society of London. Pp. 367. The Royal Society, Londres. 1958. 21s.

Ce livre fait la liste des Associés et Membres Etrangers de la *Royal Society* avec leurs postes et adresses actuels. On y trouve aussi la composition des Comités de la *Royal Society* et des comités mixtes avec d'autres organismes et des Comités Nationaux de sciences diverses du Conseil International des Unions Scientifiques. Il comprend également la liste des postes de recherche de la société ainsi que les statuts, rapport annuel du Conseil, comptes et recettes sans oublier les comptes rendus de travaux entrepris par les Professeurs, Associés et Etudiants.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Vol. III. Pp. 328. The Royal Society, Londres. 1957. 30s.

La vie et l'œuvre de 21 membres récemment décédés figurent dans ce volume, le troisième d'une nouvelle série faisant suite aux Notices nécrologiques des membres de la *Royal Society*. Chaque biographie est précédée d'une photographie et renferme, le cas échéant, une bibliographie.

HODGMAN, C. D., WEAST, R. C. et SELBY, S. M., publié par: *Handbook of Chemistry and Physics* (39e édition). Pp. XXII + 3213. Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio. 1957. £5.

Ouvrage très pratique de référence en physique et en chimie destiné à l'expérimentateur. Il y a un très grand nombre de fonctions mathématiques et une très grande variété de constantes physiques: solubilités, chaleurs de formation, renseignements cristallographiques par les rayons X, spectres d'émission, densités, potentiels de demi-ondes (pour l'analyse polarographique) et fonctions de travail des électrons, entre autres.

MOORE, W. J.: *Physical Chemistry* (3e édition). Pp. XII + 641. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1957. 30s.

Manuel avancé destiné à l'étudiant américain et, en Grande-Bretagne, à ceux qui préparent les examens supérieurs de chimie. Il demande la connaissance du calcul différentiel, de la physique élémentaire et de la chimie de première année de Faculté mais l'étudiant n'aura pas besoin d'autre manuel de chimie physique théorique. Les questions étudiées comptent la théorie cinétique, la physique et chimie nucléaires, la structure des molécules, la statistique chimique, la photochimie et la chimie des radiations ainsi que les fondements habituels des manuels de chimie physique. Le niveau est nettement élevé. Chaque chapitre se termine par des problèmes accompagnés de solutions (différence principale avec l'édition précédente) et une liste d'ouvrages à consulter.

MORRISON, G. H. et FREISER, H.: *Solvent Extraction in Analytical Chemistry*. Pp. XI + 269. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 54s.

Les méthodes d'extraction par les solvants ont pour but d'accélérer les analyses, d'aider à déterminer les concentrations même dans les cas de mélanges très complexes. Ce livre traite de la théorie et de la pratique de ces techniques. La partie pratique décrit les appareils et méthodes et fait un exposé logique des nombreuses extractions individuelles et de quelques procédés choisis pour l'extraction de certains éléments. Il y a de nombreux renvois aux textes originaux.

ZUIDERWEG, F. J.: *Laboratory Manual of Batch Distillation*. Pp. VIII + 126. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $3,50.

Cette révision d'un ouvrage de Ir. J. Verheus a pour but d'aider le chimiste faisant des distillations en laboratoire mais n'ayant pas l'intention de se spécialiser dans ce domaine. Les principes théoriques directement en cause sont expliqués et l'étude, le montage et l'essai des appareils sont discutés. Les points plus délicats, tels que la distillation permanente et azéotropique, n'ont pas été traités mais le livre fait une revue de la littérature qui fait allusion à ces questions. Un appendice donne des nomogrammes et des diagrammes tout comme le texte.

SCURTI, Francesco: *Le Sostanze minerali delle Piante in rapporto all'Agricoltura e alla Zootecnia*. Pp. VII + 281. Loescher-Editore, Turin. 1957. 4 000 lires.

Les éléments chimiques trouvés dans les plantes se divisent en macro-éléments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, etc., présents en grandes quantités et les micro-éléments: bore, cuivre, zinc etc., dont on ne trouve que des quantités infimes. Chaque élément fait l'objet d'un chapitre séparé. Son importance est évaluée dans la physiologie végétale et le comportement du sol et sa présence, en excès ou en défaut selon le cas, est étudiée par rapport aux maladies de la plante. Chaque chapitre est accompagné d'une bibliographie complète tirée de publications du monde entier.

FLOREY, Sir Howard, publié par: *General Pathology* (2e édition). Pp. XV + 932. Lloyd-Luke (Medical Books) Ltd., Londres. 1958. 84s.

Ce livre est basé sur des conférences faites à Oxford aux étudiants ayant suivi le cours supérieur de physiologie. Il n'essaie pas de faire une revue complète de la pathologie générale, bien que certains chapitres aient été ajoutés dans ce but à cette édition, mais plutôt de traiter des sujets chers à l'un ou l'autre des auteurs.

Les 43 chapitres traitent de certains changements fondamentaux provoqués dans l'organisme en réponse aux blessures (au sens large du mot) et l'ouvrage essaie d'intéresser les meilleurs étudiants aux aspects fonctionnels en même temps que morphologiques de la pathologie.

Notes biographiques sur les collaborateurs

J. E. ALLEN,
B.Eng., Ph.D., A.M.I.E.E.,
Naquit en 1928 et étudia à l'Université de Liverpool. De 1949 à 1952 s'occupa de l'effet de striction dans les canaux d'étincelles à haut-courant au Département d'Electrotechnique de cette université. Il travaille depuis 1952 au Groupe des Réactions thermonucléaires contrôlées de l'Etablissement de Recherches d'Energie Atomique de Harwell et a fait des travaux expérimentaux et théoriques sur divers aspects de la physique du plasma.

HERBERT DINGLE,
D.Sc., A.R.C.S.,
Naquit en 1890 et entra en 1915 au *Royal College of Science* de Londres comme étudiant de physique, où il resta après ses diplômes et devint Maître de conférences, Professeur adjoint et, finalement, Professeur de Physique. En 1946, il fut nommé à la chaire d'Histoire et de Philosophie Scientifiques à *University College*, Londres. Il prit sa retraite avec le titre de Professeur honoraire, en 1955. Il est membre de nombreuses sociétés savantes britanniques et étrangères et a été secrétaire et président de la *Royal Astronomical Society*. Son œuvre scientifique concerne surtout la spectroscopie (particulièrement dans ses applications à l'astronomie et aux problèmes de la médecine et de l'industrie), la relativité et les aspects philosophiques de la science.

G. E. R. DEACON,
C.B.E., D.Sc., F.R.S.E., F.R.S.,
Naquit en 1906 et étudia à *King's College*, Londres. Il collabora aux *Discovery Investigations* de 1927 à 1939, faisant quatre voyages dans l'Antarctique et publiant un certain nombre d'articles sur l'océanographie de l'Océan Austral. Après avoir servi pendant quatre ans de guerre dans la recherche contre les sous-marins, il dirigea le groupe de travaux océanographiques à *l'Admiralty Research Laboratory* de Teddington et a été Directeur du *National Institute of Oceanography* depuis sa fondation en 1949.

SIR HAROLD SPENCER JONES,
K.B.E., M.A., Sc.D., D.Phil., Ll.D., F.R.S., F.R.S.E.,
Naquit à Londres en 1890 et étudia à *Jesus College*, Cambridge. Il occupa le poste d'Astronome de Sa Majesté de 1923 à 1933 au Cap de Bonne Espérance et celui d'Astronome Royal de 1933 à 1955. Il a reçu la médaille royale de la *Royal Society*, la médaille d'or de la *Royal Astronomical Society*, la médaille Janssen de la Société astronomique de France et la médaille d'or Bruce de l'*Astronomical Society of the Pacific*. Il est *Fellow* honoraire de *Jesus College*, Cambridge, ancien président de la *Royal Astronomical Society*, de la *British Astronomical Association*, de l'*Institute of Navigation*, et de l'Union astronomique internationale. Il est aussi membre étranger de nombreuses académies nationales et membre honoraire de nombreuses sociétés astronomiques du Commonwealth et de l'étranger.

GEORGE SALT,
Sc.D., F.R.S.,
Naquit à Loughborough en 1903 et étudia aux Universités d'Alberta, Harvard et Cambridge. Est maintenant Maître de conférences de Zoologie dans cette dernière Université et *Fellow* de *King's College*. Ses recherches ont porté principalement sur les insectes parasites, mais il étudia pendant la guerre les larves de taupin et autres insectes du sol. Il participe à la lutte contre les insectes affectant les récoltes dans diverses parties du monde et une bonne part de ses travaux académiques ont pour but l'extermination biologique de ces fléaux. Il contribue à la rédaction des *Cambridge Monographs in Experimental Biology*. A fait paraître de nombreux articles sur l'écologie, l'entomologie et la parasitologie.

C. B. AMPHLETT,
B.Sc., Ph.D.,
Naquit en 1920 et étudia à l'Université de Birmingham. Pendant la guerre, il effectua des recherches sur la chimie de l'uranium pour le compte du projet d'énergie atomique de «Tube Alloys» puis entra dans l'équipe anglo-canadienne d'énergie atomique en 1944, travaillant tout d'abord à Montréal puis à Chalk River. Il revint en Angleterre en 1947 et entra à la Division chimique de l'Etablissement de Recherches d'Energie Atomique de Harwell, étudiant jusqu'en 1952 les effets chimiques des radiations ionisantes. Il s'occupe depuis 1954 des systèmes d'échanges d'ions inorganiques en ce qui concerne leurs applications possibles dans le champ de l'énergie atomique.

J. B. THOMAS,
Ph.D.,
Naquit à Java en 1907 et étudia la physiologie végétale à l'Université publique d'Utrecht. En 1940 il alla aux Jardins Botaniques Royaux (à l'époque) de Buitenzorg, à Java, pour y étudier l'économie en eau des plantes tropicales. Il retourna aux Pays-Bas après la guerre et entra en 1947 au Groupe de Recherche Biophysique à Utrecht, où il fut nommé maître de conférences de biophysique en 1957. Ses travaux portent surtout sur la photosynthèse.